

A woman wearing a white hard hat and a blue blazer is shown in profile, looking at a large architectural drawing. The background is a blurred industrial or construction site. The image is framed by a dark orange border with red diagonal lines crossing in the upper right and lower right corners.

**Cleverson Flor da Rosa
Franciele Bonatto
João Dallamuta
(Organizadores)**

Impactos das Tecnologias nas Engenharias 3

Cleverson Flor da Rosa
Franciele Bonatto
João Dallamuta
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias nas Engenharias

3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias nas engenharias 3 [recurso eletrônico] / Organizadores Cleveson Flor da Rosa, Franciele Bonatto, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias nas Engenharias; v. 3)

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-7247-193-0
DOI 10.22533/at.ed.930191503

1. Engenharia. 2. Inovações tecnológicas. 3. Tecnologia. I. Rosa, Cleveson Flor da. II. Bonatto, Franciele. III. Dallamuta, João. IV. Título.

CDD 658.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Esta obra é composta por pesquisas realizadas por professores de cursos de engenharia e gestão. Optamos por uma abordagem multidisciplinar por acreditarmos que esta é a realidade da pesquisa em nossos dias.

A realidade é que não se consegue mais compartimentar áreas do conhecimento dentro de fronteiras rígidas, com a mesma facilidade do passado recente. Se isto é um desafio para trabalhos de natureza mais burocrática como métricas de produtividade e indexação de pesquisa, para os profissionais modernos está mescla é bem-vinda, porque os desafios da multidisciplinariedade estão presentes na indústria e começam a ecoar no ambiente mais ortodoxo da academia.

Esta obra temos aspectos de gestão aplicada, em análises econômicas, de ambiente de negócios, análise de confiabilidade, mapeamento de processos e qualidade. Também são abordadas pesquisas nas áreas de construção e urbanismo. Todos os trabalhos com discussões de resultados e contribuições genuínas em suas áreas de conhecimento.

Boa leitura

Cleverson Flor da Rosa
Franciele Bonatto
João Dallamuta

UMA ABORDAGEM MULTIDISCIPLINAR

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NO AMBIENTE REGULATÓRIO E SEUS IMPACTOS NO DESENVOLVIMENTO DO PRÉ-SAL	
<i>João Sílvio Semolini Olim</i>	
<i>Johnson Herlich Roslee Mensah</i>	
<i>Jamil Haddad</i>	
<i>Roberto Akira Yamachita</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9301915031	
CAPÍTULO 2	11
ANÁLISE DO MAPA DO FLUXO DE VALOR EM UMA FARMÁCIA HOSPITALAR DE VITÓRIA DA CONQUISTA – BA	
<i>Carla Monique Rocha dos Santos</i>	
<i>Adelma Costa Cordeiro</i>	
<i>Cinara Gomes dos Santos</i>	
<i>Iggor Lincolln Barbosa da Silva</i>	
<i>Juliana Cristina de Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9301915032	
CAPÍTULO 3	23
ANALISE ECONÔMICA DA INJEÇÃO DE ÁGUA EM CAMPOS MADUROS NA REGIÃO DA BACIA POTIGUAR UTILIZANDO UM MODELO BIDIMENSIONAL	
<i>Talles André Moraes Albuquerque</i>	
<i>Jardel Dantas da Cunha</i>	
<i>Keila Regina Santana Fagundes</i>	
<i>Antônio Robson Gurgel</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9301915033	
CAPÍTULO 4	38
APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE DE FALHA - FMEA NA INSTALAÇÃO DE BOMBEIO CENTRÍFUGO SUBMERSO (BCS) EM CAMPOS MADUROS ONSHORE NA BACIA DO RECONCAVO	
<i>Jeanderson de Souza Mançú</i>	
<i>Luiz Eduardo Marques Bastos</i>	
<i>Raymundo Jorge de Sousa Mançú</i>	
<i>Graciele Cardoso Mançú</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9301915034	
CAPÍTULO 5	48
APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO (CEP) COMO MÉTODO DE CONTROLE DA QUALIDADE PARA A SECAGEM DE CAFÉ	
<i>Uilla Fava Pimentel</i>	
<i>Gildeir Lima Rabello</i>	
<i>Willian Melo Poubel</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9301915035	
CAPÍTULO 6	55
LEVANTAMENTO COMPARATIVO SERGIPE VS BRASIL DO CONSUMO, COMERCIALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO GÁS NATURAL AO LONGO DE 10 ANOS	
<i>Raí Melo de Oliveira</i>	
<i>Thereza Helena Azevedo Silva</i>	

Marcela de Araújo Hardman Côrtes

DOI 10.22533/at.ed.9301915036

CAPÍTULO 7 63

REDE NEURAL DE ELMAN APLICADA NA PREVISÃO DE PREÇOS DE COMBUSTÍVEIS

Renan Pires de Araújo

Adrião Duarte Dória Neto

Andrés Ortiz Salazar

DOI 10.22533/at.ed.9301915037

CAPÍTULO 8 70

BIOPROSPECÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA MANUFATURA DE BIODIESEL

Débora da Silva Vilar

Milson dos Santos Barbosa

Isabelle Maria Duarte Gonzaga

Aline Resende Dória

Lays Ismerim Oliveira

Luiz Fernando Romanholo Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.9301915038

CAPÍTULO 9 85

USO DO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) PARA HIERARQUIZAÇÃO DE MÉTODOS DE MENSURAÇÃO DO GRAU DE APLICAÇÃO DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

Arthur Felipe Echs Lucena

Luci Mercedes De Mori

DOI 10.22533/at.ed.9301915039

CAPÍTULO 10 102

SEGURANÇA DO TRABALHADO EM CAMPOS PETROLÍFEROS ONSHORE DA BACIA SERGIPE-ALAGOAS: PERCEPÇÕES SOBRE TERCEIRIZAÇÃO, ACIDENTES OMITIDOS E PROCEDIMENTOS ADEQUADOS

Milson dos Santos Barbosa

Débora da Silva Vilar

Aline Resende Dória

Adyson Barboza Santos

Elayne Emilia Santos Souza

Luiz Fernando Romanholo Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.93019150310

CAPÍTULO 11 113

A INFLUÊNCIA DA ERGONOMIA EM MELHORIAS PRODUTIVAS UTILIZANDO A EQUAÇÃO NIOSH

Emerson da Silva Moreira

Luiz Eduardo Nicolini do Patrocinio Nunes

DOI 10.22533/at.ed.93019150311

CAPÍTULO 12 131

SIMULAÇÃO DA ONDA COMPRESSIONAL APLICADO EM MODELOS DIGITAIS DE ROCHAS

Gracimário Bezerra da Silva

José Agnelo Soares

Leopoldo Oswaldo Alcázar Rojas

DOI 10.22533/at.ed.93019150312

CAPÍTULO 13 142

MULTIÁREAS DA ENGENHARIA ELÉTRICA COMO CONTEÚDOS COMPLEMENTARES APLICADOS À REDE PÚBLICA DE ENSINO

Hélvio Rubens Reis de Albuquerque
Raimundo Carlos Silvério Freire

DOI 10.22533/at.ed.93019150313

CAPÍTULO 14 157

DESENVOLVIMENTO DE BANCADA PARA INVESTIGAÇÃO DE HIDRODEMOLIÇÃO EM AMBIENTES PRESSURIZADOS

Lidiani Cristina Pierri
Rafael Pacheco dos Santos
Jair José dos Passos Junior
Anderson Moacir Pains
Marcos Aurélio Marques Noronha

DOI 10.22533/at.ed.93019150314

CAPÍTULO 15 164

DELTA NOB

Andressa Regina Navas
Leticia Tieppo
Renan Ataide
Guilherme Legramandi
Ludmilla Sandim Tidei de Lima Pauleto
André Chaves

DOI 10.22533/at.ed.93019150315

CAPÍTULO 16 171

AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE AFERIÇÃO DO TEOR DE UMIDADE EM PEÇAS DE MADEIRA DE DIMENSÕES REDUZIDAS

João Miguel Santos Dias
Florêncio Mendes Oliveira Filho
Alberto Ygor Ferreira de Araújo
Sandro Fábio César
Rita Dione Araújo Cunha

DOI 10.22533/at.ed.93019150316

CAPÍTULO 17 180

NOVA TÉCNICA DE ESCAVAÇÕES DE MICROTÚNEIS: ANÁLISE DE DESLOCAMENTOS NO MACIÇO DE SOLO UTILIZANDO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Lidiani Cristina Pierri
Rafael Pacheco dos Santos
Jair José dos Passos Junior
Wagner de Sousa Santos
Marcos Aurélio Marques Noronha

DOI 10.22533/at.ed.93019150317

CAPÍTULO 18 201

UTILIZAÇÃO DA BORRACHA DE PNEU COMO ADIÇÃO EM FORMATO DE FIBRA PARA O TIJOLO ECOLÓGICO.

Gabrieli Vieira Szura
Andressa Zanelatto Venazzi
Adernanda Paula dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.93019150318

CAPÍTULO 19 215

ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE ASSENTAMENTO DE SAPATAS DE REVESTIMENTO EM ÁGUAS PROFUNDAS

Geovanna Cruz Fernandes

Douglas Bitencourt Vidal

Carla Salvador

DOI 10.22533/at.ed.93019150319

CAPÍTULO 20 224

A EXPLORAÇÃO DAS AREIAS BETUMINOSAS DO CANADÁ: UM EXEMPLO DE RESERVATÓRIO NÃO CONVENCIONAL

Paulo Sérgio Lins da Silva Filho

Fabiano dos Santos Brião

DOI 10.22533/at.ed.93019150320

SOBRE OSA ORGANIZADORES 233

ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES NO AMBIENTE REGULATÓRIO E SEUS IMPACTOS NO DESENVOLVIMENTO DO PRÉ-SAL

João Sílvio Semolini Olim

Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI
Itajubá-MG

Johnson Herlich Roslee Mensah

Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI
Itajubá-MG

Jamil Haddad

Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI
Itajubá-MG

Roberto Akira Yamachita

Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI
Itajubá-MG

RESUMO: A descoberta de petróleo em reservatórios nas camadas Pré-Sal no litoral brasileiro foi de extrema importância para o Brasil. Com a comprovação de reservas abundantes, ficou claro que o futuro da energia no Brasil passaria de uma forma ou de outra pela exploração bem sucedida do Pré-Sal. Este trabalho analisa o impacto do Marco Regulatório do Pré-Sal, e demais alterações regulatórias correlatas, na produção nacional de petróleo e no planejamento energético nacional a partir do estudo das correlações entre a legislação vigente em cada período e a evolução da produção total de petróleo no Brasil e do progresso na exploração do pré-sal, levando em conta também a evolução do preço do petróleo e o comportamento do mercado

internacional como potenciais amplificadores de tais efeitos. Inicialmente, são caracterizados o papel do petróleo na matriz energética nacional, e as diferentes leis criadas especificamente para a exploração do Pré-Sal. A seguir, são apresentados alguns dados dos leilões promovidos pela ANP desde a descoberta do Pré-Sal que colaboram para a compreensão da evolução da produção que é esperada do Pré-Sal. A seguir, é discutido o impacto das diferentes leis no desenvolvimento do Pré-Sal. Ao fim, são apresentadas algumas correlações que mostram os impactos das alterações de legislação no mercado de petróleo e gás brasileiro no planejamento energético nacional.

PALAVRAS-CHAVE: Pré-Sal, Marco Regulatório, Planejamento Energético, Petróleo.

ABSTRACT: The discovery of oil and gas reservoirs in Pre-Salt layers located at the Brazilian offshore coast was extremely important for Brazil. With huge proven reserves, it is clear that the future of energy in Brazil will be correlated one way or another with proper development of Pre-Salt fields. This paper shows the impact of specific laws and regulations, created by Brazilian authorities to regulate the Pre-Salt exploration, on national oil production levels and national energy planning, through the study of correlations between the regulations and its consequences on these variables, taking

into consideration also the oil price and the international oil market as amplifiers of such effects. Initially, the Pre-Salt is briefly described, as well as the role of oil in the Brazilian Energy matrix. Then, specific Pre-Salt laws and regulations are presented and compared, followed by the results of the bidding rounds promoted by ANP since the Pre-Salt discovery, correlating the different scenarios with production levels. At the end, a few correlations are presented to show the impact of different regulations in the oil and gas market and in the national energy planning.

KEYWORDS: Pre-Salt, Brazilian Oil Regulations, Energy Planning, Oil and Gas.

1 | INTRODUÇÃO

A indústria nacional de petróleo e gás está iniciando uma nova fase na sua história. A descoberta do Pré-Sal tem potencial de ser tão revolucionária quanto a primeira descoberta viável na plataforma continental e subsequente desenvolvimento da Bacia de Campos há algumas décadas. Hoje, o Pré-Sal já é responsável por mais de 50% da produção nacional, com um imenso potencial ainda a ser desenvolvido.

Porém, ao analisar o ambiente regulatório do setor de exploração e produção de petróleo e gás, e as alterações promovidas com o objetivo de diferenciar o tratamento do Pré-Sal em relação às outras reservas já sendo exploradas, nota-se que a atual produção foi estabelecida graças ao ambiente regulatório anterior ao Pré-Sal. Muito do que se fez em termos de alterações no ambiente regulatório acabou por gerar efeitos contrários aos pretendidos, entre outros, uma estagnação nos leilões.

Este trabalho descreve alguns aspectos importantes deste processo, bem como alguns resultados obtidos, com o intuito de fomentar discussões sobre o impacto das alterações no ambiente regulatório no desenvolvimento do Pré-Sal, bem como seu impacto no planejamento energético nacional.

2 | METODOLOGIA

Ao analisar a matriz energética nacional, o petróleo é o recurso energético predominante, com seus derivados representando 42,2% do consumo energético em 2016 (EPE, 2017). Desta forma, grande parte da economia nacional depende do petróleo, direta ou indiretamente. Ainda segundo o PDE 2026 (EPE, 2017), espera-se que, em 2026, a produção de petróleo registre o dobro do valor registrado em 2016, com o Pré-Sal respondendo por quase 75% da produção nacional de petróleo ao final do decênio. Segundo o relatório mensal da ANP (ANP, 2018), em fevereiro de 2018 a produção de petróleo no Brasil foi de aproximadamente 2,617 Mbbbl/d (mil barris por dia). A produção do Pré-Sal correspondeu a 53,3% do total produzido no Brasil, o que já caracteriza o Pré-Sal como responsável por mais de 20% da oferta energética atual,

apenas em petróleo. O Pré-Sal é similarmente importante na produção de gás no Brasil. O impacto do Pré-Sal no planejamento energético nacional tende a ser, portanto, muito relevante. A Figura 1 mostra o que é esperado da evolução da participação do Pré-Sal na produção de petróleo.

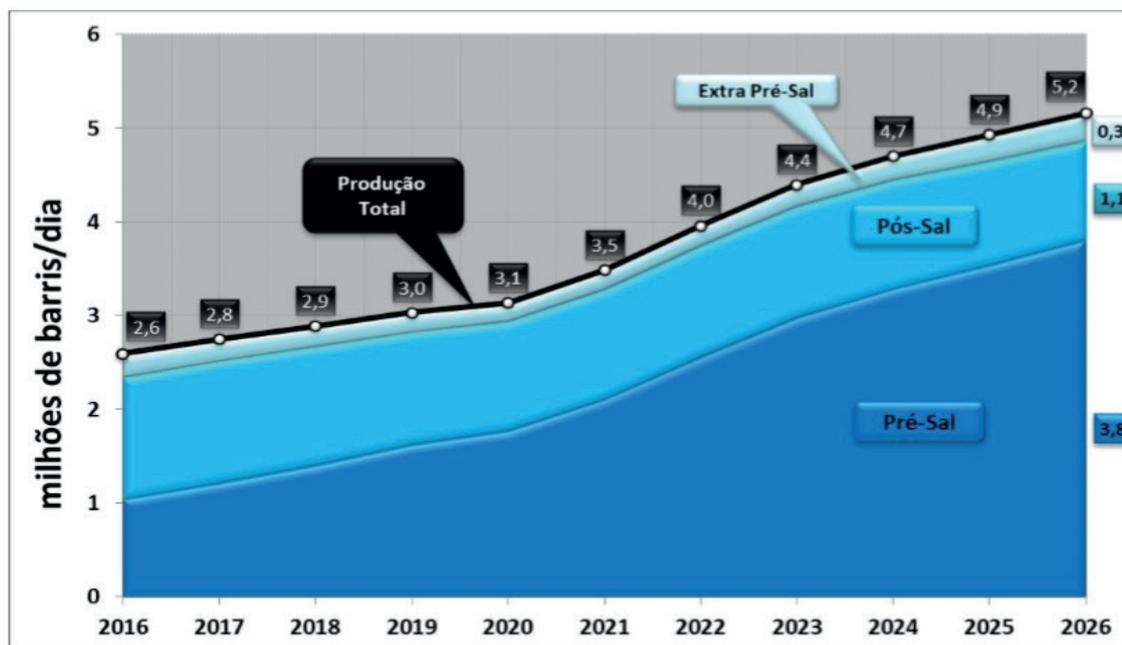


Figura 1. Previsão da produção de petróleo nacional (EPE, 2017).

O Pré-Sal brasileiro tem extensão aproximada de 800 quilômetros entre as costas dos Estados do Espírito Santo e Santa Catarina, e sua área engloba três bacias sedimentares: Espírito Santo, Campos (RJ) e Santos (SP). A descoberta do Pré-Sal foi extremamente importante para o Brasil, principalmente devido ao grande volume de petróleo existente.

A exploração do Pré-Sal sempre foi vista como desafiadora em diversas formas. Grande parte dos desafios técnicos tem sido lentamente vencida com a experiência acumulada ao longo dos últimos anos. Entre os desafios técnicos, além das tecnologias específicas para a perfuração e produção em um ambiente extremamente complexo, estão também desafios relacionados à infra-estrutura, logística, formação profissional de profissionais, bem como desafios econômicos e políticos.

Em termos econômicos, as preocupações são motivadas principalmente pelo risco da “Doença Holandesa”, que é a sobre apreciação permanente da taxa de câmbio de um país em razão da existência de recursos naturais abundantes e baratos. Quando isso acontece, o país deixa de investir em outros setores da economia, que não conseguem ser competitivos, o que pode ser extremamente prejudicial, a longo prazo.

Do ponto de vista político, havia uma grande resistência à exploração do Pré-Sal por empresas estrangeiras devido a preocupações estratégicas (ter acesso ao petróleo para uso no Brasil), bem como preocupações tributárias, visto que se visava

uma arrecadação mais significativa na exploração destes recursos. Desta forma, surgem os marcos regulatórios do Pré-Sal.

Os leilões de concessão posteriores à aprovação da Lei 9478/1997 e anteriores ao primeiro marco regulatório do pré-sal sofreram apenas pequenas alterações ao longo dos anos. Após a descoberta do Pré-Sal, o governo considerou que o modelo de leilões de concessão não representava a melhor forma de exploração para o Pré-Sal. Desta forma, para os novos projetos na área do Pré-Sal, a regulação do setor foi rediscutida, dando origem à Lei nº 12.351/2010, conhecida como a Lei do Pré-Sal. Destaca-se a alteração do regime de Concessão para o de Partilha de Produção, a gestão compartilhada entre o governo e a estatal criada para tal tarefa: PPSA (Pré-Sal Petróleo S.A.), e a obrigatoriedade da participação da Petrobras com no mínimo 30% e como operadora em todos os projetos do Pré-Sal.

Mais tarde, em 2016, a Lei nº 13.365/2016 foi aprovada, alterando novamente o cenário regulatório. A alteração mais significativa foi a alteração relativa ao papel da Petrobras no desenvolvimento do Pré-Sal. O requisito compulsório de que a Petrobras tivesse participação mínima de 30% e o papel compulsório de operador, também imposto à Petrobras, foi substituído por um direito à preferência, que, se exercido pela Petrobras, garantiria a participação de 30% e o papel de operador, podendo, no entanto, não ser exercido se a empresa considerasse desvantajoso.

A Tabela 1 ilustra as principais diferenças entre as diferentes leis, que estabeleceram as diferentes eras de exploração do Pré-Sal. O regime de leilões ainda é usado para áreas em terra e do Pós-Sal, que agora estão em segundo plano visto que as áreas mais promissoras são as do Pré-Sal.

	Lei 9.478/1997	Lei nº 12.351/2010		Lei 13.365/2016
Contrato	Concessão	Partilha de Produção		Partilha de Produção
Fluxo de Remuneração	Empresas remuneram a União via Royalties e Impostos	Empresas remuneram a União via Royalties e Impostos, bem como uma parcela do excedente de produção (produção restante após serem deduzidos os custos).		
Composição de Consórcios para o leilão	Livre, negociada entre as empresas interessadas.	Petrobras tem participação mínima de 30%	A Petrobras, caso julgue apropriado, pode exercer a preferência para ser a operadora, o que implicaria também na participação mínima de 30%. Caso a Petrobras não se interesse, o bloco pode ser operado por outras empresas, com ou sem a participação da Petrobras no consórcio.	
Operação (Realização Técnica do Projeto)	Definida entre as empresas do consorcio que vencer o leilão	Definida em Lei: Somente a Petrobras pode operar blocos do Pré-Sal		
Gestão do Projeto	Empresa ou Consórcio que vencer o Leilão	Compartilhada entre o governo e a estatal criada para tal tarefa: PPSA (Pré-Sal Petróleo S.A.).		

Bônus de Leilão	Variável (parte dos itens que definem o vencedor)	Fixo	
Conteúdo Local	Variável	Fixo	
Investimentos	Responsabilidade e risco da Empresa ou Consórcio que vencer o Leilão	Responsabilidade e risco das empresas do consórcio que vencer o leilão (inclui a Petrobras com parcela mínima de 30%)	Responsabilidade e risco das empresas do consórcio que vencer o leilão (incluindo a Petrobras, se a sua preferência for exercida).
Ativos	Pertencem à Empresa ou Consórcio que vencer o Leilão	No final da operação, todos os ativos passam para o governo.	

Tabela 1: Comparativo com a evolução da legislação aplicada à exploração do Pré-Sal

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das mudanças provenientes da Lei nº 12.351/2010, tem-se uma alteração na dinâmica do mercado. Adicionou-se ao elevado grau de risco técnico e às incertezas, inerentes neste tipo de projeto, as restrições de autonomia que é fator de grande importância para as empresas do setor, especialmente quando se trata de projetos com grandes investimentos em desenvolvimento tecnológico. A incerteza regulatória também voltou a ser considerada, já que o modelo ainda não havia sido testado. Desta forma, tem-se um período em que, mesmo com inúmeras condições econômicas favoráveis (entre elas principalmente o alto preço do petróleo), apenas um leilão é realizado e apenas um bloco é arrematado. Além disso, o único bloco arrematado no primeiro leilão teve apenas uma oferta no valor mínimo estabelecido em edital.

Bacia	Setor	Bloco	Empresa / Consórcio vencedor	Bônus de Assinatura (R\$)	Excedente em óleo oferecido	Âgio
Santos	SS-AUP1	Libra	Petrobras (40%)*, Shell (20%), Total (20%), CNPC (10%) e CNOOC (10%).	15 Bilhões	41,65%	0,00%
*Operadora						

Tabela 2: Resultado do primeiro leilão do Pré-Sal - Lei nº 12.351/2010. (Fonte: ANP)

No regimento da Lei nº 13.365/2016 já foram realizadas três rodadas de leilões (Segunda, Terceira e Quarta rodada do regime de partilha), com resultados expressivos tanto com relação ao número de empresas concorrentes, bem como no ágio obtido ao final do leilão devido à concorrência entre os consórcios de empresas. As Tabelas 3, 4 e 5 mostram um resumo dos resultados de cada uma destas rodadas.

Bacia	Setor	Bloco	Empresa / Consórcio vencedor	Bônus de Assinatura (R\$)	Excedente em óleo oferecido	Ágio
Santos	SS-AUP2	Sul de Gato do Mato	Shell Brasil (80%)* e Total E&P Brasil (20%)	100 Milhões	11,53%	0,00%
Entorno de Sapinhoá Petrobras (45%)*, Shell Brasil (30%) e Repsol Sinopec (25%). 200 Milhões 80% 673,69%						
		Norte de Carcará	Statoil Brasil O&G (40 %)*, Petrogal Brasil (20%) e ExxonMobil Brasil (40%).	3 Bilhões	67,12%	203,99%
*Operadora; O bloco Sudoeste de Tartaruga Verde, na Bacia de Campos, não recebeu ofertas.						

Tabela 3: Resultado do Segundo Leilão do Pré-Sal - Lei nº 13.365/2016 (Fonte: ANP).

Bacia	Setor	Bloco	Empresa / Consórcio vencedor	Bônus de Assinatura (R\$)	Excedente em óleo oferecido	Ágio
Santos	SS-AUP2	Peroba	Petrobras (40%)*, CNOOC Brasil (20%) e BP Energy (40%).	2 Bilhões	76,96%	450,07%
	SS-AP1	Alto de Cabo Frio Oeste	Shell Brasil (55%)*, CNOOC Petroleum (20%) e QPI Brasil (25%).	350 Milhões	22,87%	0,00%
Campos	SC-AP5	Alto de Cabo Frio Central	Petrobras (50%)*, BP Energy (50%).	500 Milhões	75,8%	254,82%
*Operadora; O bloco Pau Brasil, na Bacia de Santos, não recebeu ofertas.						

Tabela 4: Resultado do Terceiro Leilão do Pré-Sal - Lei nº 13.365/2016 (Fonte: ANP).

Bacia	Setor	Bloco	Empresa / Consórcio vencedor	Bônus de Assinatura (R\$)	Excedente em óleo oferecido	Àgio
Santos	SS-AUP1	Três Marias	Petrobras (30%)*, Chevron Brazil (30%) e Shell Brasil (40%).	100 Milhões	49,95%	500,36%
	SS-AUP2	Uirapuru	Petrobras (30%)*, Petrogal Brasil (14%), Statoil Brasil O&G (28%), ExxonMobil Brasil (28%).	2,65 Bilhões	75,49%	240,35%
Campos	SC-AP5	Dois Irmãos	Petrobras (45%)*, Statoil Brasil O&G (25%), BP Energy (30%).	400 Milhões	16,43%	0,00%

*Operadora; O bloco Itambezinho, na Bacia de Campos, não recebeu ofertas.

Tabela 5: Resultado do Quarto Leilão do Pré-Sal - Lei nº 13.365/2016 (Fonte: ANP).

São notáveis também os impactos do ambiente regulatório na Petrobras. Durante o período de vigência da Lei nº 12.351/2010, o ritmo de desenvolvimento do Pré-Sal ficou limitado à capacidade de investimento da Petrobras e de sócios minoritários. Vale aqui ressaltar que, neste mesmo período, a Petrobras passou por uma crise que a fez acumular grande desvalorização em um período em que a maioria das empresas do setor acumulou grandes valorizações, alavancadas pela alta no preço do barril de petróleo.

Apesar de existirem outros fatores que podem ter contribuído para a desvalorização da empresa (tais quais: crise econômica nacional, compra da Refinaria de Pasadena, operação Lava a Jato, política de preços de combustíveis, troca de presidentes, etc.), as limitações econômicas devido ao peso imposto pelo seu papel no desenvolvimento do Pré-Sal é também um importante contribuinte. A Figura 2 mostra tal fenômeno através da comparação do preço do barril de petróleo com o valor da ação da Petrobras, cotada no último dia útil de cada mês. É mostrado também no gráfico o valor da ação da empresa Exxon, representando o comportamento que se pode notar na grande maioria das empresas do setor de petróleo e gás neste período.

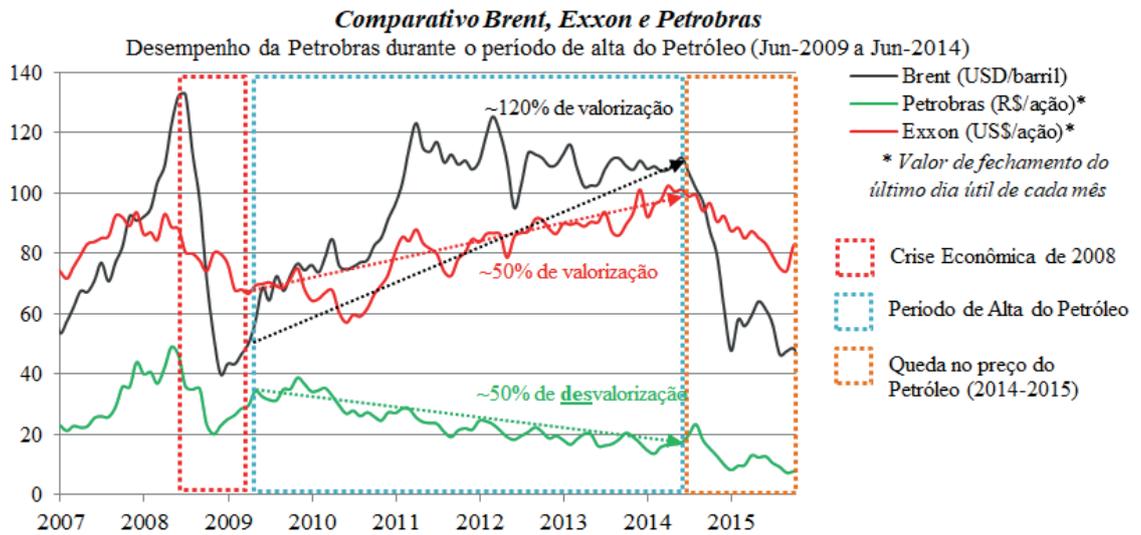


Figura 2: Evolução do preço do barril de Petróleo (Brent), ações da Petrobras e da Exxon.

Com a Lei nº 13.365/2016, e a opção de exercer ou não a preferência para ser a operadora e ter participação de 30%, a Petrobras continuou sendo a principal empresa no cenário nacional. Porém, a Petrobras pode priorizar apenas os blocos mais atrativos, exercendo esta preferência em apenas 6 das 12 oportunidades.

Com relação ao impacto da produção do Pré-Sal no planejamento energético nacional, pode-se dizer que o impacto das alterações no ambiente regulatório serão notadas a médio e longo prazo. Durante o período de vigência da Lei nº 12.351/2010, o desenvolvimento do Pré-Sal torna-se então função da capacidade da Petrobras em viabilizar a exploração e a produção, uma vez que muitas empresas internacionais priorizaram outros prospectos. O bloco de Libra, arrematado em 2013 no primeiro e único leilão de partilha realizado no período de vigor da Lei 12.351/2010, teve seus testes de longa duração no final de 2017, com início de produção em 2018 (com atraso), e pode ser considerado irrelevante em termos de histórico de produção, sendo, no entanto, muito importante no que se refere às perspectivas de produção, já que se trata de um dos principais blocos do Pré-Sal.

Devido à escassez de leilões para o regime de partilha, bem como o atraso da produção no lote arrematado citado anteriormente, praticamente toda a produção do Pré-Sal acumulada até os dias atuais são provenientes de áreas que já estavam em regime de concessão, proveniente de leilões anteriores a Lei 12.351/2010. Hoje em dia, cerca de 60% da produção do Pré-Sal é proveniente do campo denominado Lula, que é derivado do Bloco BM-S-11, leiloado em 2000, antes mesmo da divulgação das descobertas do Pré-Sal. O Campo de Lula foi pioneiro na produção de petróleo do Pré-Sal, e tem sido o principal produtor desde meados de 2015. A Figura 3 mostra a contribuição de cada campo na atual produção do Pré-Sal, bem como o ano de concessão dos principais campos.

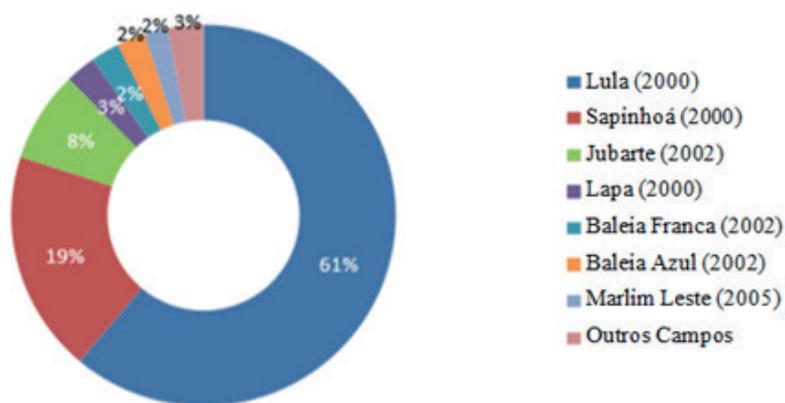


Figura 3: Produção do Pré-Sal por campo (ano da concessão) (ANP, 2018).

4 | CONCLUSÕES

O período entre 2010 e 2014 apresentou uma excelente janela para que o desenvolvimento do Pré-Sal fosse alavancado, visto que o preço do barril de petróleo ficou acima de US\$ 80,00 por barril, tendo passado boa parte deste período acima de US\$ 100,00 por barril. No entanto, a mudança no ambiente regulatório inicialmente desestimulou investimentos na área e acabou por atrasar o desenvolvimento do Pré-Sal. O efeito das alterações na legislação de exploração e produção de petróleo ainda não é evidente, dado que a produção do Pré-Sal tem atingido os níveis esperados através dos blocos que já haviam sido leiloados no regime de concessão (principalmente o bloco Lula, na bacia de Santos). Porém, dado o atraso no desenvolvimento de Libra (primeiro bloco leiloado no regime de partilha), e o atraso nas rodadas 2, 3 e 4, é extremamente provável que a produção não atinja o nível esperado nos próximos anos, com potencial de normalização uma vez que mais blocos sejam explorados e passem a produzir.

A alteração da participação da Petrobras de compulsória para voluntária facilitou o ajuste dos investimentos da Petrobras, visto que a empresa pode abdicar de alguns blocos. O mesmo processo estimulou a entrada de empresas internacionais que, apesar da queda no preço do petróleo, consideram atrativa a participação no desenvolvimento do Pre-Sal. Com tal concorrência, o ágio nos leilões atingiu altos níveis, chegando, em alguns casos, a 600%. Este caso demonstra a complexidade do setor e a dificuldade em se gerar o ambiente correto para que o Pré-Sal materialize o seu potencial como maior recurso energético nacional nos próximos anos.

REFERÊNCIAS

ANP, **Boletim Mensal da Produção de Petróleo e Gás Natural**, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Brasília, 2017, Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/publicacoes/boletins-anp/2395-boletim-mensal-da-producao-de-petroleo-e-gas-natural>>. Acesso em: 19 de abril 2018

ANP, **Anuário Estatístico 2018**, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Brasília, 2017, Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/publicacoes> > Acesso em: 19 de abril 2018

ANP, Rodadas de Licitações de Petróleo e Gás Natural, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Brasília, 2017, Disponível em: < <http://rodadas.anp.gov.br/pt/partilha-de-producao> > Acesso em: 19 de abril 2018

BRASIL, Lei nº 12.351, de 22 de dezembro de 2010. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 dez. 2010.

BRASIL, Lei nº 13.365, de 29 de novembro de 2016. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 nov. 2016.

EPE, **Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2026)**, Empresa de Pesquisa Energética, Ministério de Minas e Energia, Brasília, 2017, Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Publicacoes Arquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Publicacoes%20Arquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf)> Acesso em: 19 de abril 2018

LIMA, P. C. R. **Pré-Sal: O novo marco legal e a capitalização da Petrobras**. Rio de Janeiro: Synergia, 2011.

ANÁLISE DO MAPA DO FLUXO DE VALOR EM UMA FARMÁCIA HOSPITALAR DE VITÓRIA DA CONQUISTA – BA

Carla Monique Rocha dos Santos

Faculdade Independente do Nordeste - FAINOR
Vitória da Conquista - Bahia

Adelma Costa Cordeiro

Faculdade Independente do Nordeste - FAINOR
Vitória da Conquista - Bahia

Cinara Gomes dos Santos

Faculdade Independente do Nordeste - FAINOR
Vitória da Conquista - Bahia

Iggor Lincoln Barbosa da Silva

Faculdade Independente do Nordeste - FAINOR
Vitória da Conquista - Bahia

Juliana Cristina de Souza

Faculdade Independente do Nordeste - FAINOR
Vitória da Conquista - Bahia

RESUMO A teoria *Lean Healthcare*, oriunda do Sistema Toyota, trata-se de uma filosofia de gestão que tem se tornado inovadora na área da saúde. O *Lean* foi um sistema que revolucionou a indústria automotiva e vem sendo aplicado por empresas de diversos segmentos. Neste sentido, a essência do *Lean Healthcare* é fundamentada por um sistema de gestão enxuta que pode mudar a forma que os hospitais são organizados e geridos, permitindo a melhoria na qualidade do cuidado destinado aos pacientes através de ações tais como: redução de custos e esperas; apoio a funcionários e médicos, eliminando problemas

para que toda a atenção seja dirigida à saúde, permitindo que diferentes departamentos do hospital trabalhem melhor e em conjunto para o benefício dos pacientes. Desta forma, o objetivo desta pesquisa é salientar a importância e necessidade de aplicar técnicas da produção enxuta, através do Mapeamento de Fluxo de Valor, para identificar e eliminar desperdícios dentro de uma Farmácia em um hospital na cidade de Vitória da Conquista-BA.

PALAVRAS-CHAVE: Lean Healthcare, Gestão Inovadora na área da saúde, Mapeamento de Fluxo de Valor.

ABSTRACT: The Lean Healthcare theory, derived from the Toyota System, is a philosophy of management that has become innovative in the area of health. Lean was a system that revolutionized the automotive industry and has been applied by companies in many segments. In this sense, the essence of Lean Healthcare is based on a lean management system that can change the way hospitals are organized and managed, allowing improvement in the quality of patient care through actions such as: cost reduction and waiting times ; support for staff and doctors, eliminating problems so that all health care is focused, allowing different departments of the hospital to work better and together for the benefit of patients. In this way, the objective of this research is to emphasize

the importance and necessity of applying lean production techniques, through Value Stream Mapping, to identify and eliminate wastes within a Pharmacy in a hospital in the city of Vitória da Conquista-BA.

KEYWORDS: Lean Healthcare, Innovative Healthcare Management, Value Stream Mapping.

1 | INTRODUÇÃO

As empresas de segmento voltados para a área de saúde vem vivenciando grandes desperdícios de recursos materiais e humanos, os quais necessitam de constantes melhorias. Dentre esses recursos, podemos destacar alguns fatores como: processos mal concluídos, movimentações irrelevantes, pessoas incapacitadas para a execução das tarefas e informações dispensáveis. Nesta perspectiva, este estudo visa identificar os principais problemas que podem ocorrer em um processo de distribuição e manuseio de medicamentos em uma farmácia hospitalar. O embasamento teórico se deu pela Teoria *Lean* que surgiu através do Sistema Toyota de Produção (STP), que visa propor melhorias nos processos a fim de reduzir os desperdícios.

Segundo Ohno (1997), a teoria Lean busca eliminar os 7 desperdícios mais comuns nas indústrias de produtos ou serviços: defeitos; estoque maior que a demanda; superprodução; espera; movimentação; transporte e super-processamento. Segundo Womack e Jones (2003) há um oitavo desperdício, definido como desperdício de talento, no qual o potencial de criatividade humana e sua demonstração de habilidades não são aproveitados, sendo estas um dos fatores responsáveis para a inovação de qualquer ambiente organizacional.

De acordo com (BERTANI, 2012), após o desenvolvimento da Filosofia do *Lean* dentro das empresas, muitas Instituições públicas e privadas começaram a adotar esse conceito na área de saúde e surge o termo *Lean Healthcare*. Ainda de acordo com o mesmo autor, o *Lean Healthcare*, uma abordagem de gestão inovadora na área da saúde, traz a capacidade de identificar e resolver problemas de maneira inteligente economizando recursos e liberando maior capacidade operacional.

O *Lean Healthcare*, quando aplicado da maneira correta, resulta na otimização em várias áreas do serviço hospitalar: redução do tempo de espera do paciente e materiais (medicamentos), organização de estoques para melhor atender as demandas e diminuição da movimentação dos funcionários durante a coleta de medicamentos.

2 | OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é analisar os processos de uma Farmácia dentro

do ambiente hospitalar e identificar desperdícios (atividades que não agregam valor) utilizando métodos da Teoria do *Lean Healthcare* e Mapeamento de Fluxo de Valor.

2.2 Objetivos Específicos

- Fazer um estudo sobre possíveis falhas nos procedimentos utilizados no atendimento da Farmácia do Hospital;
- Montar um mapa de fluxo de valor a fim de identificar os problemas nos processos;
- Aplicar os conceitos do *Lean* para propor correção das falhas identificadas;
- Esboçar através do diagrama os ganhos de otimização dos processos pesquisados.

3 | REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Gerenciamento de Processos

A Gestão de Processos ou *Business Process Management* (BPM) visa identificar, desenhar, executar, documentar, medir, monitorar, controlar e melhorar os processos para que os resultados desejados possam ser alcançados (ASSOCIATION, 2009). A BPM se baseia em alguns princípios, são eles: satisfação dos clientes, participação da alta gerência, conhecimento das habilidades das pessoas, padronização dos processos, informação e comunicação, melhoria contínua e busca por excelência.

De acordo com Palmberg (apud Muckenberger, 2013, p. 640) os motivos que levam uma organização a buscar o BPM são particulares a cada organização. Entretanto, é possível identificar os motivos mais comuns (JESTON; NELIS 2006 apud MUCKENBERGER, 2013, p. 640):

- A organização apresenta crescimento acentuado levando a dificuldades em atingir seus objetivos e perda de controle e agilidade para aproveitar oportunidades;
- Há dificuldades no gerenciamento, com informações imprecisas e/ou conflitantes e necessidade de cortar custos e aumentar produtividade;
- Ocorre alta rotatividade, falta de preparo e insatisfação dos colaboradores;
- Aumento no número de clientes, fornecedores ou parceiros e elevam-se as exigências em atendê-los através de um relacionamento de proximidade;
- Os produtos e serviços oferecidos são complexos e há duplicação de tarefas;
- Não há visão dos processos ponta a ponta, gerando lacunas e falta de padronização e clareza quanto a responsabilidades; e
- Ocorre introdução ou eliminação de sistemas de informação.

Os resultados esperados com a aplicação do BPM são o fortalecimento

da habilidade de mudar e melhorar da organização e a inclusão da estrutura de processos dentro da estrutura tradicionalmente funcional (PALMBERG, 2010 apud MUCKENBERGER, 2013, p. 642).

3.2 Gerenciamento de processo em Farmácia Hospitalar

De acordo com RAFFA (2017) “o gerenciamento de processos hospitalares tem a capacidade de organizar rotinas de trabalho, definir gargalos e apoiar a definição das estratégias de negócios”. Com isso, através do mapeamento do processo, é possível identificar toda a problemática e assim planejar, monitorar, avaliar e revisar todos os processos da organização de Saúde. No entanto, para torná-la efetiva, não basta definir, é necessário realizar o monitoramento das ações, a fim de saber se estão sendo feitas de forma correta, bem como promover revisões periódicas que visam a solução de problemas.

3.3 Lean

Para Graban (2013), a filosofia *Lean* consiste em um conjunto de conceitos, princípios e ferramentas utilizados para criar e proporcionar o máximo de valor do ponto de vista dos consumidores. É importante salientar, que se trata de um processo de melhoria contínua e de constante aprimoramento, sendo necessário o acompanhamento e supervisão das atividades e ferramentas relacionadas com a sua aplicação.

Compreender os cinco passos do pensamento *lean* é fundamental para o sucesso de sua implementação. Especificar o valor do serviço e/ou produto oferecido segundo o ponto de vista do usuário, identificar a cadeia de valor constituída por todas as ações que formam o produto/serviço, eliminar desperdícios, definição do fluxo, sistema puxado e aperfeiçoamento dos processos são etapas imprescindíveis para garantir que cada atividade agregue valor ao processo (Joint Commission; tradução: Raul Rubenich, p. 24, 2013).

3.4 Lean Healthcare

Lean Healthcare é uma derivação do *Lean* (oriundo do sistema Toyota de produção), sistema aplicado na área da saúde com uso de um conjunto de filosofias operacionais e métodos que ajudam na redução do desperdício e minimização do tempo de espera dos pacientes. O *Lean Healthcare* utiliza um ciclo contínuo de melhoria e aprendizagem que envolve vários atores como: pacientes, prestadores de cuidados de saúde e pessoal de suporte.

Segundo Waring e Bishop (2010), o *lean healthcare* contribui para tendências em três áreas que estão relacionadas com a proliferação, gestão de cooptação e auditoria, a reconfiguração do trabalho clínico e a re-estratificação de grupos profissionais. Essas tendências representam um novo ponto na reorganização do trabalho em saúde.

3.5 Mapeamento de Fluxo de Valor

O Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) é uma ferramenta de comunicação e planejamento que possibilita uma melhor compreensão da realização dos processos. Primeiramente é feito um mapeamento do estado atual com informações como: tempos, número de pessoas envolvidas em cada processo, etc. Posteriormente é feito o mapeamento do estado futuro, mostrando o diagnóstico com as devidas melhorias, acompanhado do plano de trabalho e implementação.

O Kaizen, Kanban, Mapeamento do Fluxo de Valor, Nivelamento da Produção, Poka-Yoke, são algumas das ferramentas que o *lean manufacturing* possui e que são fundamentais para eliminar desperdícios ou atividades que não agregam valor ao processo (INACIO et al., 2016).

4 | METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos utilizados para realização desta investigação, foi por meio de uma abordagem exploratória com ênfase em um estudo de caso, no qual disponibiliza múltiplas estratégias nas observações, visam uma maior familiaridade do pesquisador com o tema, e pode ser construído com base em hipóteses ou intuições.

O estudo de caso foi realizado em uma Farmácia de um Hospital particular situado na cidade de Vitória da Conquista na Bahia, no qual os serviços atendem diretamente ou indiretamente aos leitos de UTI, clínica cirúrgica, médica e pediátrica; UTI neonatal e pediátrica do hospital. A partir de uma análise de informações rigorosa dentro da farmácia, foi escolhido um método para identificar os processos realizados pelos técnicos e com isso, aplicou-se o Mapeamento de Fluxo de Valor da Situação Atual. Esse caso foi selecionado devido aos impactos e possíveis falhas que podem causar danos à saúde dos pacientes. A coleta de dados para a elaboração do mapeamento do fluxo de valor foi feita através da observação do trabalho dos técnicos enquanto realizavam suas funções.

Posteriormente, após a identificação dos possíveis gargalos, fez-se um Mapeamento de Fluxo de Valor da Situação Futura com proposições de melhorias baseando-se na filosofia *Lean Healthcare* a fim de reduzir o desperdício de materiais e *lead time* e otimizar as etapas do processo de dispensação de medicamentos até sua chegada ao paciente.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise e discussão dos resultados estão sendo realizados em conformidade com os procedimentos metodológicos propostos.

5.1 O processo de Dispensação de Remédios

A farmácia hospitalar em estudo, realiza a Dispensação de Remédios que atendem aos leitos de UTI, clínica cirúrgica, médica e pediátrica; UTI neonatal e pediátrica do hospital recebe em média 112 prescrições por dia no total de leitos. Esse processo é realizado por dois técnicos farmacêuticos e requer muita atenção pois influencia diretamente na qualidade do serviço prestado ao paciente, que podem ser prejudicados ou levados ao óbito devido a erros que poderiam ser prevenidos.

O processo inicia com a chegada de remédios em caixas e os técnicos farmacêuticos fracionam os medicamentos e identificam através de uma máquina: o nome, a validade e a fabricação para cada medicamento fracionado. Após essa etapa os respectivos remédios são colocados em vasilhas plásticas que são chamadas de gavetas como mostra a Figura 1 abaixo, e ficam dispostas em prateleiras em ordem alfabética.



Figura 1 - Prateleiras com Gavetas

Fonte: Autores 2017

Essas etapas são feitas antes da prescrição médica chegar, para evitar demoras no atendimento. As prescrições são levadas para a farmácia pelos enfermeiros que atendem aos leitos e após o recebimento das prescrições os técnicos iniciam a etapa de triagem: processo de separação da quantidade de comprimidos para cada 24 hrs.

Após a triagem, os remédios são colocados em sacos plásticos, chamados de kits do paciente como mostra a Fig. 2, e identificados por leito e locais onde os pacientes estão internados. O transporte dos kits são feitos pelo mesmo enfermeiro que trouxe a prescrição. Durante todas essas etapas citadas, o paciente fica aguardando para a administração do medicamento.



Figura 2 - Kits dos Pacientes

Fonte: Autores 2017

O inventário dos medicamentos é feito manualmente pelos técnicos farmacêuticos, como mostra a Fig. 3 abaixo.

PLANILHAS DE DISPENSAÇÃO SIMPAS N° _____
 CLÍNICA: Crumbogco DATA: 13/08/16

CÓD	MEDICAMENTOS	QUANTIDADE
2450-3	AAS 100MG	<input checked="" type="checkbox"/>
97012-3	ACETILSISTEÍNA 600MG	
2446-5	ACETAZOLAMIDA	
2452-0	ÁCIDO FÓLICO	<input type="checkbox"/>
8213-9	ÁCIDO TRANEXAMICO AP	
12045-6	ÁCIDO TRANEXAMICO CP	
2466-0	ALBENDAZOL 400MG	
2475-9	AMICACINA 500MG	<input checked="" type="checkbox"/>
2481-3	AMINOFILINA AP 24MG/ML	
2480-5	AMINOFILINA CP 100MG	
2483-0	AMIODARONA 200MG	
2484-8	AMITRIPTILINA 25MG	<input type="checkbox"/>
2487-2	AMPICILINA 1G	
97300-9	ANFOTERICINA B 50MG	
103828-1	ANIDULAFUNGINA 100MG	
2511-6	CETOPROFENO CP 50MG	
10332-2	CETOPROFENO IM 100MG	<input checked="" type="checkbox"/>
1366-4	CETOPROFENO IV 100MG	
3364-7	CILOSTAZOL 100MG	<input type="checkbox"/>
3125-6	CIPRO AP 400MG	<input type="checkbox"/>
10340-5	CIPRO CP 500MG	<input type="checkbox"/>
2520-3	CLINDAMICINA AP 600MG	
2545-7	CLONAZEPAM 0,5MG	
2488-9	CLONAZEPAM 2MG	
10250-1	CLONIDINA 0,100MG CP	
3121-4	CLONIDINA 0,200MG CP	
2540-5	CLONIDINA 0,150MG CP	

Figura 3 - Inventário de Medicamentos

Fonte: Autores 2017

5.1.1 Problemas encontrados no processo

- A separação dos medicamentos não é feito por nomes dos pacientes na hora da entrega dos medicamentos ao enfermeiro;
- Falta de comunicação entre o setor de enfermagem e a farmácia;
- Possibilidade de erros na administração dos medicamentos por conta de mudanças do leito do paciente;

- Atraso na triagem dos medicamentos e controle de estoque manual;
- Prescrição de medicamento é feita manualmente pelo médico, o que acarreta no atraso da separação do medicamento e identificação do mesmo, visto que a grafia da maioria dos médicos são ilegíveis;
- A medicação do paciente fica separado através da previsão de uso durante uma quantidade de tempo determinado, e caso ocorra alterações na prescrição não comunica o setor de farmácia, dessa forma o medicamento fica muito tempo separado sem uso.
- Retrabalho, na troca de turnos na farmácia, onde a pessoa que entra tem que revisar todos os medicamentos que já foram entregues e quais faltaram;
- Erro no controle “*real time*” dos medicamentos que estão no estoque e os que já precisam ser feitos novos pedidos;
- Ausência de controle para observação de validade dos medicamentos que são adquiridos e pouco usados;
- Controle apenas visual dos medicamentos que estão sendo utilizados por prescrição médica;
- Atraso no tempo entre a entrega da requisição pelo enfermeiro e no tempo que o funcionário da farmácia separa o medicamento, visto que o mesmo é feito de maneira visual e manual.

5.2 Mapeamento da situação atual do processo de dispensação dos medicamentos na farmácia

Para conhecer o processo foi realizado observações no setor entre o período de 18 a 25 de setembro de 2016. Foram observados vários problemas no processo de dispensação de medicamentos (vide problemas citados no tópico anterior).

Com isso, realizou-se o Mapeamento do Fluxo de Valor do estado atual no setor de Farmácia visando identificar as principais falhas e propor melhorias nos processos realizados pelos técnicos farmacêuticos. O MFV do estado Atual está representado na Fig.4 abaixo:

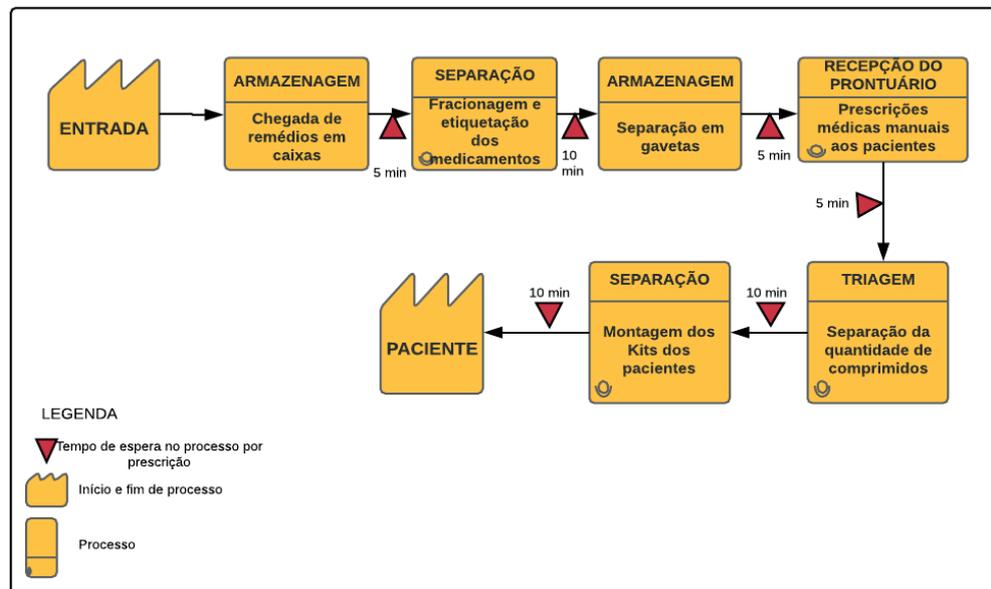


Figura 4 - Mapa da Situação Atual do processo de dispensação de medicamentos

Fonte: Autores 2017

Observa-se na figura acima que o fluxo se inicia com a armazenagem dos medicamentos, que pode ter seu tempo de entrada alterado no processo de acordo com a demanda. Após o fracionamento e separação dos medicamentos que são guardados em gavetas, são recebidas as prescrições médicas trazidas pelos(as) enfermeiros(as). Considerando-se que cada paciente necessita de um medicamento específico e que há o uso de mais de um medicamento por paciente, o técnico se desloca para a área de armazenamento, faz uma triagem para separar os medicamentos necessários e em seguida montar os kits destinados aos pacientes.

Os medicamentos são colocados em sacos plásticos que indicam o leito ao qual deve ser destinado e selados para evitar contaminação. Após esse processo, o técnico deposita o saco com os medicamentos em baldes. Com a execução de todas as etapas, os baldes ficam dispostos na recepção, aguardando a condução dos kits para os respectivos leitos. O *lead time* de todo o processo por prescrição leva em média 45 minutos.

5.3 Mapeamento do Estado Futuro com proposições de melhorias

A partir da construção do Mapeamento do Fluxo de Valor foi possível identificar algumas falhas nos processos e construir o Mapa Futuro com as seguintes melhorias:

- Implantação de um sistema de gestão de armazenamento dos medicamentos, que possibilite o controle sobre a quantidade a ser comprada, prazos de validade e disponibilidade dos fornecedores;
- Alteração no *layout* do ambiente, possibilitando menores deslocamentos durante o processo;
- Checagens rigorosas para prevenir erros na separação dos medicamentos para

os pacientes;

- Controle das gavetas com medicamentos, permitindo a periodicidade da conferência de prazos de validade e disponibilidade do medicamento;

- Treinamento da equipe para evitar erros que causem atrasos na disponibilização dos medicamentos para os pacientes.

- Criação de um banco de dados com as informações de prescrições médicas atendidas em um determinado período, facilitando a supervisão dos demais funcionários em eventuais troca de turnos e para futuras averiguações, quando houver necessidade.

A Fig. 5 abaixo expõe o Mapa da Situação Futura com as sugestões de melhorias.

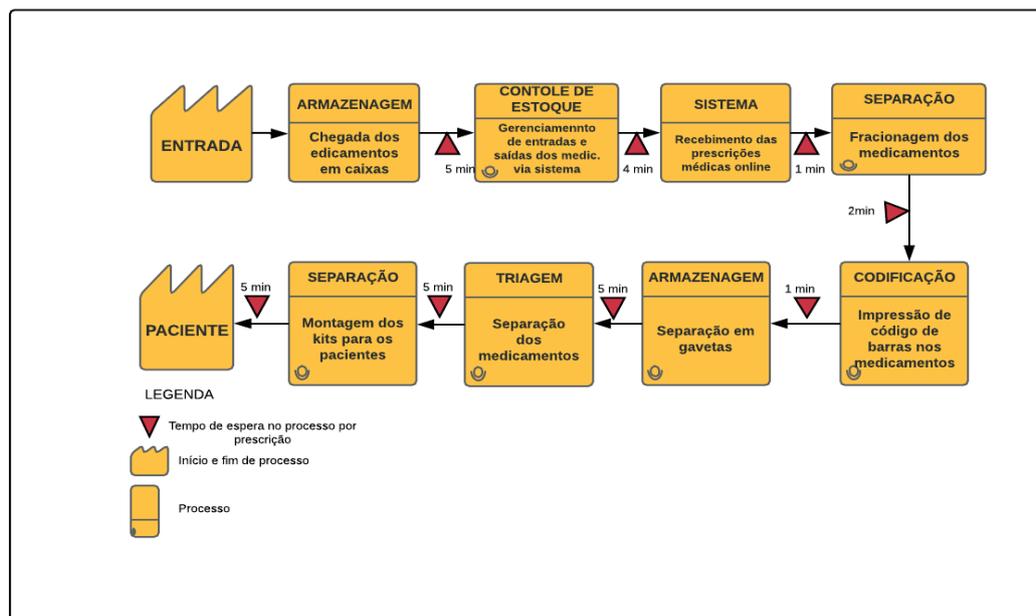


Figura 5 - Mapa da Situação Futura com as proposições de melhorias no processo de dispensação de medicamentos

Fonte: Autores 2017

Observa-se que com a aplicação dos preceitos do *Lean* é possível desenvolver melhorias em todas as etapas do processo. A implementação de um sistema de armazenamento possibilita melhorias em quase todos os processos: quando os medicamentos chegam em caixas é realizado um Controle de Estoque para gerenciar a entrada e saída de medicamentos. As prescrições médicas que eram feitas manualmente acarretavam atrasos na separação do medicamento por ter dificuldade de identificação (letras ilegíveis), agora podem ser feitas online, agilizando drasticamente a etapa de separação. Para controlar a validade dos medicamentos foi sugerido a implementação de um leitor de código de barras, que também permite eliminar o retrabalho da troca de turnos no qual a pessoa revisava manualmente a entrada e saída de medicamentos. A separação final dos medicamentos (triagem) que antes era identificada por leitos e locais onde os pacientes estavam, podem ser identificadas pelo nome do paciente para evitar falhas na entrega dos medicamentos.

As alterações das prescrições dos medicamentos dos pacientes pode ser feitas online, eliminando o atraso pela falta de comunicação. Além disso, quando o paciente muda de leito é possível acompanhar através do sistema.

Foram sugeridas alterações no layout do ambiente e realocação do balcão da recepção no setor da farmácia, possibilitando agilidade no processo de separação e montagem dos kits.

Com essas modificações no setor da Farmácia, é possível perceber que automaticamente essas melhorias refletem no setor de Enfermagem, já que gastava-se um tempo maior para o(a) enfermeiro(a) levar cada prescrição.

Desta forma, com a implementação das melhorias nos processos, foi possível reduzir o *lead time* por prescrição de 45 min para 23 min. Totalizando em uma redução de aproximadamente 22 min por prescrição, que reflete em uma redução significativa no tempo de espera dos pacientes pela medicação.

6 | CONCLUSÃO

A implementação do MFV no setor da Farmácia de um hospital em Vitória da Conquista na Bahia trouxe melhorias significativas no processo de dispensação de medicamentos através da eliminação de retrabalho, movimentação desnecessária de funcionários, redução do *lead time*, implementação de um sistema de gestão, controle de estoque além de promover uma melhor organização (mudanças no *layout*).

Para que o trabalho realizado tenha maior eficácia é necessário o engajamento não só dos colaboradores do setor da Farmácia, mas também de todos os outros setores do hospital. Para trabalhos futuros, uma ideia seria utilizar o Mapeamento de Fluxo de Valor em outros setores do hospital, acrescentando métricas como o custo gerado e reduzido após implementação, grau de satisfação dos colaboradores e pacientes; e treinamentos para qualificação do serviço prestado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF BUSSINESS PROCESS, MANAGEMENT PROFESSIONALS - ABPMP. Guia para o Gerenciamento de Processos de Negócio: Corpo Comum de Conhecimento. [S.I.], 2009.

BERTANI, T. M. **Lean Healthcare: Recomendações para Implantações dos Conceitos de Produção Enxuta em Ambientes Hospitalares.** São Carlos, 2012.

GRABAN, Mark. **Hospitais Lean [recurso eletrônico] : melhorando a qualidade, a segurança dos pacientes e o envolvimento dos funcionários** / Mark Graban ; tradução: Raul Rübenich. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre : Bookman, 2013.

INACIO, Beatriz da Costa et al, **IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN HEALTHCARE NO BRASIL: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO**, 2016 Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_WIC_226_316_30373.pdf>. Acesso em: 6 Out. de 2018.

MUCKENBERGER, Everson et al . Gestão de processos aplicada à realização de convênios

internacionais bilaterais em uma instituição de ensino superior pública brasileira, 2013. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132013000300016&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 06 Out. de 2017.

OHNO, T. **O sistema Toyota de Produção – além da produção em larga escala**. Bookman, 1997.

O pensamento lean na saúde [recurso eletrônico] : menos desperdício e filas e mais qualidade e segurança para o paciente / [Joint Commission] ; tradução: Raul Rubenich ; revisão técnica: Joaquim Cardoso. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre: Bookman, 2013.

RAFFA, Cláudia. **GERENCIAMENTO DE PROCESSOS HOSPITALARES**. Disponível em: <<http://www.gessaude.com.br/blog/gerenciamento-de-processos-hospitalares-saiba-quando-fazer-a-revisao/>>. Acesso em: 20 Mar. de 2018.

WARING, J. J.; BISHOP, S. **Lean healthcare: rhetoric, ritual and resistance**. *Social Science & Medicine*, v. 71, n. 7, p. 1332-1340, 2010.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation**, Revised and Updated. New York: Simon & Schuster, 2003. 396p.

ANALISE ECONÔMICA DA INJEÇÃO DE ÁGUA EM CAMPOS MADUROS NA REGIÃO DA BACIA POTIGUAR UTILIZANDO UM MODELO BIDIMENSIONAL

Talles André Morais Albuquerque

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA
Mossoró - RN

Jardel Dantas da Cunha

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA
Mossoró - RN

Keila Regina Santana Fagundes

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA
Mossoró - RN

Antônio Robson Gurgel

Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA
Mossoró - RN

RESUMO: Em regiões produtoras de petróleo, a viabilidade técnica e econômica de um reservatório pode ser definida a partir do método de recuperação. Estes métodos podem ser classificados em recuperação natural, na qual a própria energia presente na rocha reservatório é suficiente para produção de fluidos, convencionais por meio da injeção de água ou gás e especiais que compreendem os métodos térmicos, químicos e miscíveis para recuperação dos hidrocarbonetos. Durante a etapa de análise de recuperação de um campo, uma das ferramentas mais importantes para

realização desta análise é a simulação numérica. Desta forma, este trabalho compreende um estudo de simulação numérica de recuperação de petróleo através da injeção de água em campos *onshore* da região da Bacia Potiguar. Foram analisados quatro reservatórios com parâmetros de permeabilidade, porosidade, saturação de fluidos, viscosidades e vazões de injeção distintos. Os estudos realizados compreenderam análises de refinamento de malha, variação das vazões e da viscosidade da água de injeção, um estudo de sensibilidade do Fator de Recuperação em função dos parâmetros de reservatório e, por último, um estudo de viabilidade financeira através da análise do VPL e TIR. A partir das simulações realizadas, os resultados mostraram melhorias no Fator de Recuperação com o aumento da vazão de injeção e da viscosidade da água injetada para todos os casos analisados. Os resultados da análise de sensibilidade indicaram que os parâmetros mais relevantes na melhoria do Fator de Recuperação foram a porosidade da formação e a saturação inicial de óleo.

PALAVRAS-CHAVE: Fator de Recuperação, Simulação Numérica, Recuperação Secundária.

ABSTRACT: In oil producing regions, the technical and economic viability of a reservoir can be defined from the recovery method. These methods can be classified into natural

recovery, in which the proper and energy present in the reservoir stone is sufficient for the production of fluids, conventional through the injection of water or gas and special which comprise the thermal, chemical and recoverable hydrocarbons. During the field recovery analysis step, one of the most important tools to perform the analysis is the numerical simulation. In this way, this work compromises a numeric simulation study of petroleum recovery through the injection of water in onshore fields of the Bacia Potiguar region. Four reservoirs with permeability, porosity, fluid saturation, viscosity and injection flow parameters were analyzed. These studies included the design and grid refining, variation of viscosity and flow of the injected water, a sensitivity analysis of the Recovery Factor in function of reservoir parameters and, finally, a financial feasibility study through the analysis of the VPL and TIR. From the simulations carried out, the results showed improvements in the Recovery Factor with the increase of the injection rate and the viscosity of the injected water for all cases analyzed. The results of the sensitivity analysis indicated that the most relevant parameters in the improvement of the Recovery Factor were porosity of the formation and initial petroleum saturation.

KEYWORDS: Recovery Factor, Numerical Simulation, Secondary Recovery.

1 | INTRODUÇÃO

Uma vez constatada a insuficiência energética da produção de petróleo por meio da energia natural (ou primária), uma série de estudos são realizados para se definir formas de se extrair o restante dos fluidos existentes no subsolo (Rosa, Carvalho e Xavier, 2006). Estes estudos são necessários, por exemplo, para avaliar a possível utilização dos métodos suplementares de recuperação de hidrocarbonetos com o objetivo de aumentar a quantidade de óleo produzido do reservatório. De acordo com Craig Jr. (1971) a popularidade da injeção de água entre os métodos de recuperação é explicada por (1) a disponibilidade geral de água, (2) a relativa facilidade com que a água é injetada, (3) a capacidade da água se espalhar através de uma formação contendo óleo (4) a eficiência da água em deslocar o óleo.

Sobre a simulação de reservatórios Aziz e Settari (1979) relatam que a simulação permite um estudo mais detalhado do reservatório dividindo-o em blocos e aplicando equações fundamentais para o fluxo em meios porosos em cada bloco. Ainda segundo o mesmo autor devido aos avanços tecnológicos, alcançados desde o início dos anos 50 agora é possível escrever alguns modelos sofisticados para simular alguns processos muito complexos que ocorrem em reservatórios durante a implementação de esquemas de recuperação.

Valentin (2015) ressalta que a análise do desempenho da produção do reservatório nas suas condições atuais e futuras é fundamental para o julgamento da viabilidade econômica de um dado projeto de recuperação de petróleo. Deste modo, avaliar o histórico de desempenho de um reservatório, bem como a sua desenvoltura

na atualidade e sua previsão futura de comportamento é essencial para que se faça o seu gerenciamento. Isso se justifica pela preocupação com a quantidade produzida e com o preço do óleo que apresenta constante oscilação, devido a fatores técnicos, econômicos e políticos, que interferem em sua oferta e demanda.

Neste trabalho, simulações numéricas 2D de reservatórios serão utilizadas com a finalidade de se gerenciar a produção de petróleo provenientes de reservatórios com características semelhantes a Bacia Potiguar do Nordeste brasileiro. Isto será realizado através da análise do Fator de Recuperação e do volume de óleo produzido ao se injetar água nestes reservatórios em sistemas de malhas de injeção e produção do tipo *five-spot*.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Modelo Base

Ao todo, foram realizadas 154 simulações numéricas. Foi escolhida uma malha com comprimento entre os poços de produção de 200 m de lado (direções x, y) e distância entre os poços de injeção e produção de 140 m. Por se tratar de um sistema bidimensional (2D), considerou-se a espessura do reservatório como sendo de 1 m correspondente um 1 bloco na direção vertical (z). O sistema de malha de injeção utilizado foi o *five-spot*. Os dados rocha-fluidos utilizados nas simulações foram obtidos a partir de relatórios disponibilizados no site da ANP (Agencia Nacional de Petróleo).

No simulador, foram inseridos, de início, os dados de um campo *onshore* com características rocha-fluidos da região da Bacia Potiguar do Nordeste brasileiro para a geração de um modelo base (Tabela 1).

Propriedades	Valores
Porosidade (ϕ) - %	29
Permeabilidade (k) - mD	350
S_{oi} (%)	67
S_{wi} (%)	33
°API	38
Viscosidade da água (μ_w) – cP @ P, T	1
Viscosidade do óleo (μ_o) – cP * @ P, T	1,39

Tabela 1 - Propriedades do modelo base.

A viscosidade do óleo foi estimada com base no °API através da correlação de Glaso (1980) para óleo considerando isento de gás dissolvido para todos os reservatórios (A, B, C e D). Por não se dispor de análises completas para os quatro reservatórios, adotou-se a hipótese de que os valores de viscosidade neste trabalho estejam conforme a Tabela 2.

Propriedades	Valores
Temperatura (T)	72 °C
Pressão (P)	4800 psi
Profundidade (h)	500 m

Tabela 2 - Dados para cálculo da viscosidade

3 | OS PARÂMETROS OPERACIONAIS USADOS NO MODELO BASE ESTÃO DISPOSTOS NA TABELA

Propriedade	Valor
Distância entre poços de injeção e produção	140 m
Vazão de injeção	10 m ³ /d.

Tabela 3 - Parâmetros operacionais do modelo base

3.1 Refinamento da malha

Refinamentos foram realizados a partir do modelo base para estudar a influência do tamanho das malhas do reservatório no volume de óleo recuperado (Np) e no tempo de simulação. Este modelo foi composto por malhas com dimensões cartesianas (x,y) que variaram do menos refinado ao mais refinado com o objetivo de analisar ganhos na produção acumulada com base no critério maior refinamento malha e menor tempo simulação. O tempo de simulação para esse estudo foi de 10 anos.

3.2 Estudo de vazões

Foi realizado um estudo de vazões de injeção para o modelo base sendo variadas em intervalos de 2m³/d para a obtenção das máximas vazões em termos de Fator de Recuperação de acordo com o limite operacional de ganho no Fator de Recuperação ($\Delta FR(\%)$) mínimo, intermediário e máximo de 0,4%, 0,6% e 1% respectivamente. As vazões encontradas para este reservatório foram adotadas para os demais casos (B, C e D). O tempo de simulação para esse estudo foi de 10 anos.

As vazões encontradas para este reservatório foram adotadas para os demais casos (B, C e D).

O valor de $\Delta FR(\%)$ é calculado pela equação (21):

$$\Delta FR(\%) = FR(\%)_{qinj} - FR(\%)_{qinj-1} \quad (1)$$

Onde: FR_{qinj} é o Fator de Recuperação para a vazão atual.

FR_{qinj-1} é o Fator de Recuperação para a vazão anterior.

3.3 Análise de sensibilidade

Uma análise de sensibilidade do volume de óleo produzido (N_p) em função dos parâmetros de reservatório foi realizada no modelo base para estudar quais os parâmetros de reservatório influenciaram mais na produção de óleo deste reservatório. Nessa etapa de análise utilizou-se também o programa *Statistica 7.0* para a análise estatística dos dados. A Tabela 4 apresenta os valores dos parâmetros rocha-fluidos utilizados.

Parâmetros	Valor mínimo (-1)	Valor intermediário (0)	Valor máximo (+1)
ϕ (%)	24	29	34
k (md)	150	350	550
S_{oi}	62	67	72

Tabela 4 – Variação dos parâmetros rocha-fluido para a análise de sensibilidade

3.4 Influência da Viscosidade de Injeção

Essa etapa consistiu-se de uma análise da influência da viscosidade da água de injeção na melhoria do Fator de Recuperação de óleo. Nesta análise, foi escolhida a vazão que forneceu o maior Fator de Recuperação para cada um dos quatro campos de petróleo estudados conforme podem ser visualizados as suas propriedades rocha-fluidos na Tabela 5. O tempo de simulação para esse estudo foi de 15 anos.

Propriedade	Reservatório A	Reservatório B	Reservatório C	Reservatório D
Φ (%)	29,0	30,0	17,8	20,0
K(mD)	350,0	263,0	75,0	5,11
S_{oi}(%)	67,0	64,5	55,0	73,0
S_{wi}(%)	33,0	35,5	45,0	27,0
°API	38,0	32,0	31,0	34,1
μ_w(cP)	1,0	1,0	1,0	1,0
μ_o(cP)	1,39	2,68	3,03	2,1

Tabela 5 - Parâmetros rocha-fluidos para os reservatórios A, B, C e D

As viscosidades escolhidas para a água de injeção dos quatro reservatórios variam em 1 cP, 2 cP e 4 cP, para cada um dos quatro reservatórios. Esse aumento da viscosidade da água pode ser conseguido pelo adensamento da água de injeção com polímeros.

3.5 Análise de investimentos

A análise de investimento serviu como ferramenta auxiliar para assim determinarmos a viabilidade dos projetos de injeção estudados anteriormente. Para essa etapa dados de valores de custos de OPEX, CAPEX, impostos, como também dados de lucratividade foram alimentados em uma planilha com o intuito de obtermos o VPL, para assim analisar-se a viabilidade financeira do projeto. Os dados utilizados, foram retirados de Valentim (2015) e Rodrigues (2012) e estão dispostos na Tabela 6.

Insumos	
Taxa de atratividade (%)	15
Custo de Perfuração e Completação dos Poços Verticais onshore (US\$/Poço)	400.000,00
OPEX/Produção de óleo (US\$/BBL)	6
OPEX/Produção de água (US\$/m³)	3
OPEX/Injeção de água (US\$/m³)	3
Taxas Governamentais (%)	20
Total de Poços	5
Vazão de Injeção (m³/d)	8, 16
TOTAL CAPEX (US\$)	2.000.000,00

Tabela 6 - Dados para análise de VPL

O VPL pode ser expresso pela equação (2):

$$VPL = \sum_{i=1}^n \frac{FC}{(1+i)^t} - C \quad (2)$$

Onde, FC = fluxo de caixa para o ano 1, 2, ... n;

n = Vida do projeto;

i = Taxa de desconto;

C = Custo inicial.

Onde, o fluxo de caixa pode ser estimado pela equação (3):

$$FC = I_0 + R - Ct \quad (3)$$

Onde, I_0 = Investimento inicial;

R = Receita;

Ct = Custo totais com a produção de óleo.

O cálculo da receita é feito pela equação (4):

$$R = \text{produção de óleo (bbl)} * \text{Preço do barril} \left(\frac{US\$}{bbl} \right) \quad (4)$$

O cálculo dos custos totais é dado pela equação (5):

$$C_t = Copexo + Copexw + Cinjw + Cgov \quad (5)$$

Onde $Copexo$ corresponde ao custo com a produção de óleo, calculado pela equação (6):

$$Copexo = Voil (bbl) * preço opex oleo \left(\frac{US\$}{bbl}\right) \quad (6)$$

$Copexw$ designa o custo com a produção de água e é estimado pela equação (7):

$$Copexw = Vw (m^3) * preço opex água \left(\frac{US\$}{m^3}\right) \quad (7)$$

O custo com injeção de água ($Cinjw$) é dado pela equação (8):

$$Cinjw = Vinjw (m^3) * preço opex agua inj. \left(\frac{US\$}{m^3}\right) \quad (8)$$

Matematicamente a TIR é calculada conforme a equação (9) igualando o VPL a zero:

$$VPL = 0 = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1 + TIR)^t} \quad (9)$$

Onde, FC = fluxo de caixa;

n = Vida do projeto;

I_0 = Investimento inicial;

VPL = Valor presente líquido.

Os cálculos para a obtenção do VPL, foram feitos conforme as formulas citadas anteriormente para os quatro reservatórios (A, B, C e D). O investimento inicial foi estimado como sendo o custo de perfuração e completação dos 5 poços perfurados. Afim de facilitar os cálculos, os impostos e taxas governamentais ($Cgov$) foram estimados como um único desconto de 20% sobre a receita da produção de óleo.

Nesse estudo também foi feita a consideração de que como os poços estão localizados na extremidade do reservatório, mais precisamente em cima de um nó, a vazão de injeção efetiva seria de um quarto da vazão de injeção inserida no simulador, isso porque apenas um quarto do poço está efetivamente no reservatório.

O ensaio do VPL também considerou três cenários para o preço de barril de óleo, dispostos para os reservatórios A e B na tabela 7:

Cenário	Pessimista	Referencia	Otimista
Preço (US\$/BBL)	50,00	72,34	100,00

Tabela 7 - Preço do barril de óleo para cada cenário considerado

A Taxa Interna de Retorno foi calculada com a ajuda do software *Excel* 2016, para a vazão de injeção que apresentou maior margem de lucro para cada determinado reservatório com a finalidade de averiguarmos a rentabilidade para o determinado projeto.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo de sensibilidade

A Figura 1 apresenta a produção acumulada de óleo em função do tamanho da área dos triângulos na malha *five spot* e do tempo de simulação.

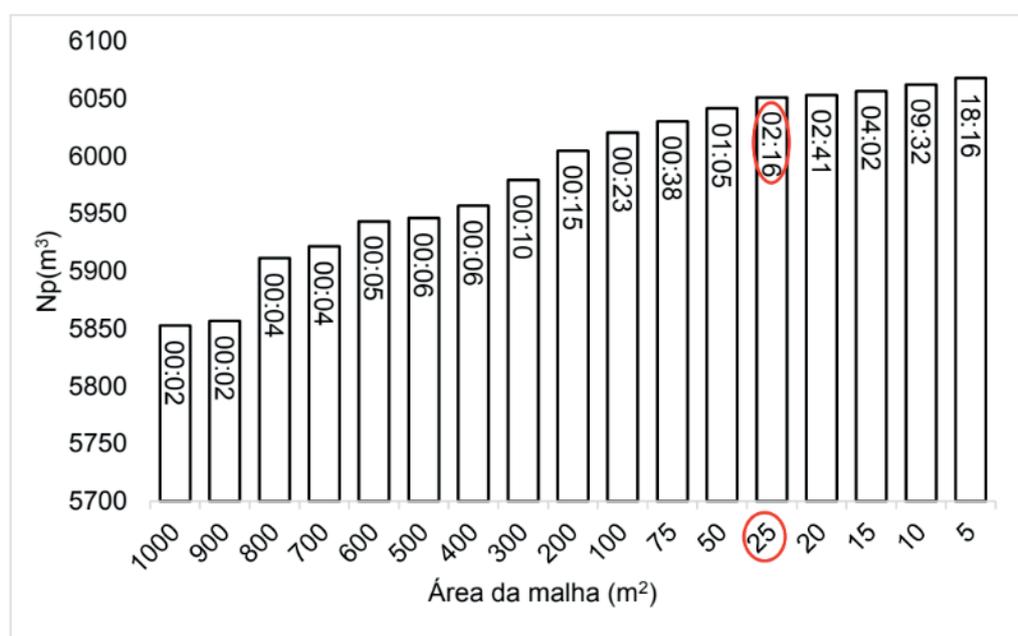


Figura 1 - Produção acumulada em função da área da malha de simulação

Fonte: (Autor, 2018.).

Conforme pode ser observado na Figura 1 com valores de área de malha menores que 25 m² o tempo de simulação aumentou de 2 min e 16 s para 2 min e 41 s enquanto que o aumento de ganho em relação ao original foi de ΔN_p (%) = 0,060631. Ainda de acordo com a Figura 1, maiores refinamentos provocariam aumentos no tempo de simulação sem que houvesse melhorias significativas no acréscimo do volume de óleo produzido. Desta forma, foi escolhida a malha com 25 m² de área para este trabalho.

4.2 Estudo de vazões

A Figura 2 apresenta os resultados do estudo do Fator de Recuperação em função do tempo para as vazões de injeção variando de 2 m³/d (em intervalos de 2 m³/d) até 20 m³/d para o modelo base.

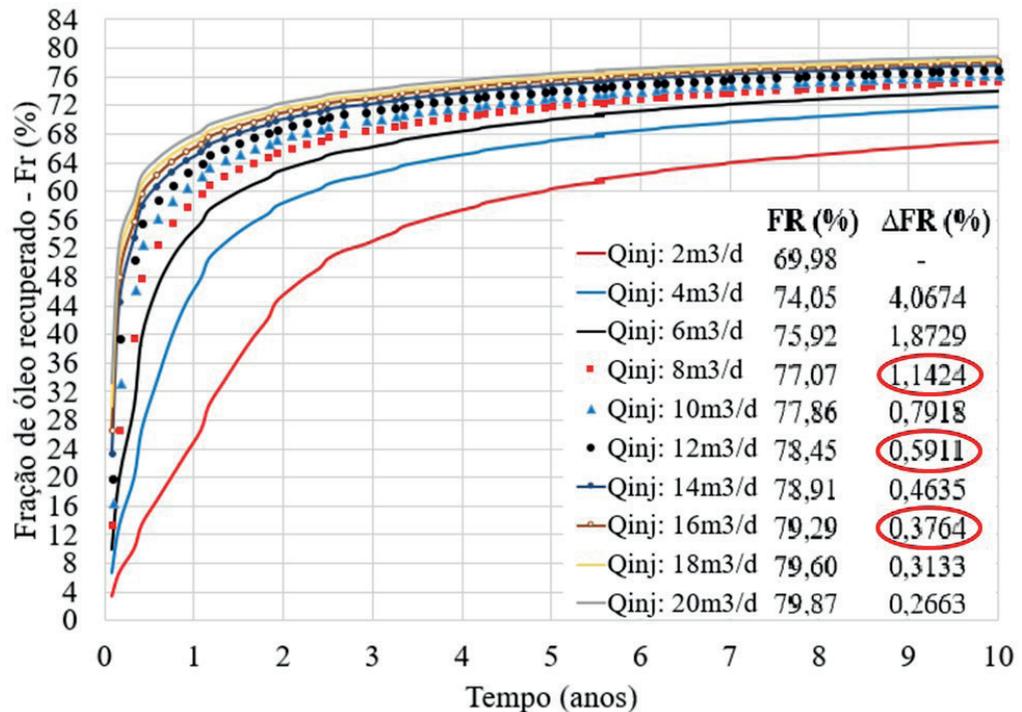


Figura 2 - Fração de óleo recuperado para 10 vazões

Fonte: (Autor, 2018.).

A partir do critério descrito na metodologia para a determinação das vazões e conforme a Figura 2 as vazões encontradas foram 8, 12 e 16 m³/d respectivamente. Pode ser observado através da Figura 2, que o Fator de Recuperação aumenta em função da quantidade de água injetada. Isto pode ser explicado porque uma vez que mais água foi injetada no reservatório, a sua frente de avanço também foi maior, e a quantidade de óleo recuperada aumentou. Entretanto, de acordo com resultados obtidos foi possível observar que ao se continuar aumentando a vazão de injeção de água, não se observou acréscimos significativos no Fator de Recuperação de óleo conforme visualizado na Figura 2, isso porque as maiores vazões de injeção criariam mais rapidamente caminhos preferenciais não conseguindo empurrar o óleo contido nos poros.

4.3 Análise da viscosidade de injeção

A Tabela 8 apresenta um resumo dos valores do Fator de Recuperação (FR) para cada um dos quatro reservatórios estudados (A, B, C e D) a partir das vazões de injeção (Q_{inj}) escolhidas na etapa anterior para os quatro reservatórios para 15 anos de injeção de água.

FR(%) – Reservatório	q_{inj} (m ³ /d)			$\Delta FR(\%)$
	8	12	16	Δ (16-8) m ³ /d
FR (%) – A	78,45	79,60	80,30	1,85
FR(%) - B	74,98	76,61	77,60	2,62
FR (%) – C	72,59	74,18	75,15	2,56
FR(%) – D	80,10	81,18	81,83	1,73

Tabela 8 - FR (%) versus q_{inj} para os quatro reservatórios.

Fonte: (Autor, 2018.).

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 8, pode-se verificar que para todos os quatro reservatórios analisados houve melhorias no Fator de Recuperação com o aumento da vazão de injeção de água. Ainda de acordo com a Tabela 8, a melhoria mais significativa foi para o reservatório B, foi observado que ao se dobrar a vazão de injeção de água (de 8 m³/dia para 16 m³/dia) houve um aumento de 2,62 pp (pontos percentuais) no Fator de Recuperação, fato que pode ter se dado por esse reservatório apresentar propriedades rocha-fluido (porosidade, saturação de óleo, viscosidade do óleo) que favorecem a recuperação de óleo pela injeção de água.

Os resultados para a análise do Fator de Recuperação em função da viscosidade alterada da água injetada estão presentes na Tabela 9.

Reservatório	μ_w (cP)			$\Delta FR(\%)$
	1	2	4	Δ (4-1) cP
A	80,3	81,65	82,62	2,32
B	77,60	79,52	80,92	3,32
C	75,15	77,02	78,38	3,23
D	81,83	83,09	84,00	2,17

Tabela 9 - Fator de recuperação em função da variação de viscosidade da água injetada

Fonte: (Autor, 2018.).

Ao se analisar os resultados obtidos na Tabela 9, verifica-se que para todos os quatro reservatórios o aumento na viscosidade do fluido de injeção melhorou o Fator de Recuperação de óleo corroborando com resultados de trabalhos de Silva (2014). A melhoria mais significativa foi para o reservatório B ($\Delta FR(\%)=3,32$ pp). Neste caso, esta melhoria pode estar relacionada ao fato de que a alteração da viscosidade para um valor mais próximo ao do óleo contribuiu para a redução da razão de mobilidade entre o fluido deslocante e o deslocado proporcionando uma melhoria a eficiência de deslocamento do óleo pela água de injeção.

4.4 Estudo de sensibilidade: parâmetros de reservatório

As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados da análise de sensibilidade do volume de óleo produzido em função dos parâmetros de reservatório para o modelo base (reservatório A).

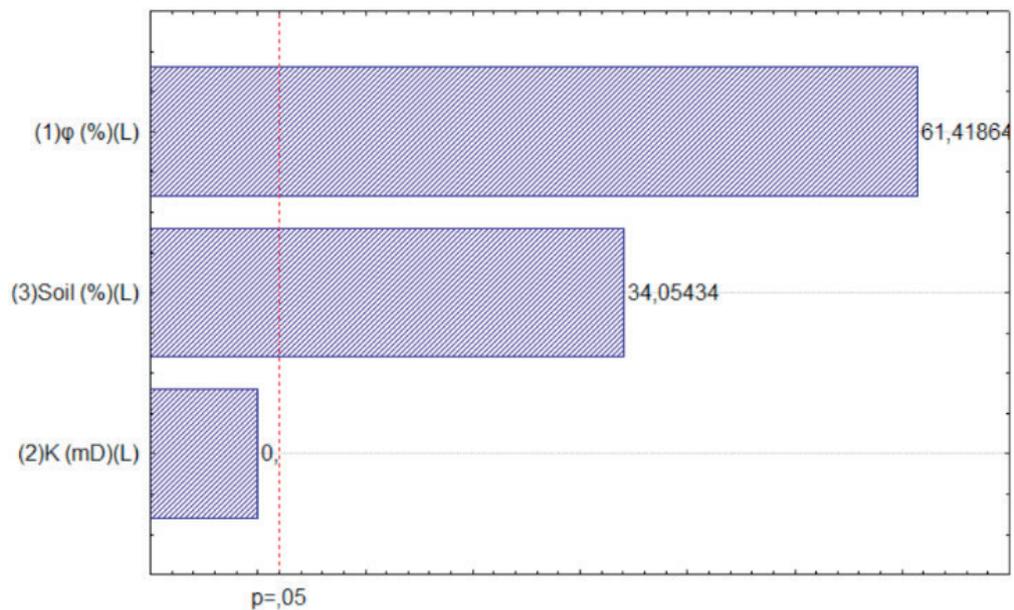


Figura 3 - Diagrama de Pareto para o modelo base.

Fonte: (Autor, 2018.).

De acordo com os resultados apresentados na Figura 3, observa-se que as variáveis que estatisticamente exerceram influências mais relevantes na produção de óleo foram a porosidade da formação e a saturação de óleo inicial. Desta forma, reservatórios que são mais porosos e que possuem uma maior quantidade de volume de óleo presente na formação poderão fornecer uma maior quantidade de óleo produzida através da injeção de água. A permeabilidade neste trabalho não exerceu influência estatisticamente relevante. Isto pode estar associado ao próprio simulador que não foi capaz de apresentar resultados satisfatórios para esta análise.

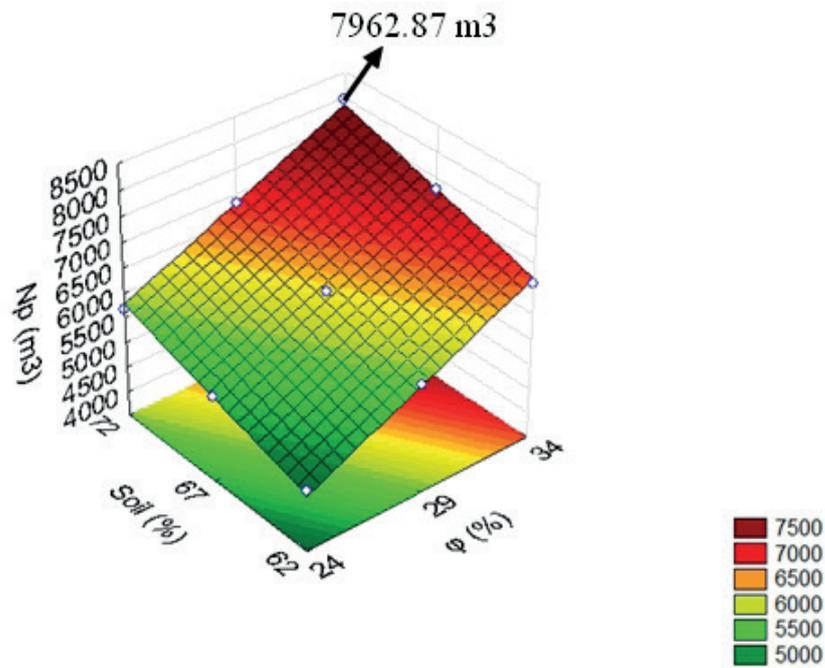


Figura 4 - Superfície de resposta: Saturação de óleo x Porosidade para o modelo base

Fonte: (Autor, 2018.).

Ao se analisar a influência da porosidade e da saturação de óleo inicial no volume de óleo produzido, verificou-se que, de acordo com a Figura 4, a região de maior influência estatística na produção de óleo foi aquela onde a porosidade consistia em valores iguais ou próximos a 34%. A combinação entre a porosidade da formação e a saturação de óleo forneceu melhorias significativas no volume de óleo produzido para o modelo base estudado.

4.5 Análise de VPL

As figuras 5, 6, 7 e 8 apresentam o VPL em função do tempo para os reservatórios A e B.

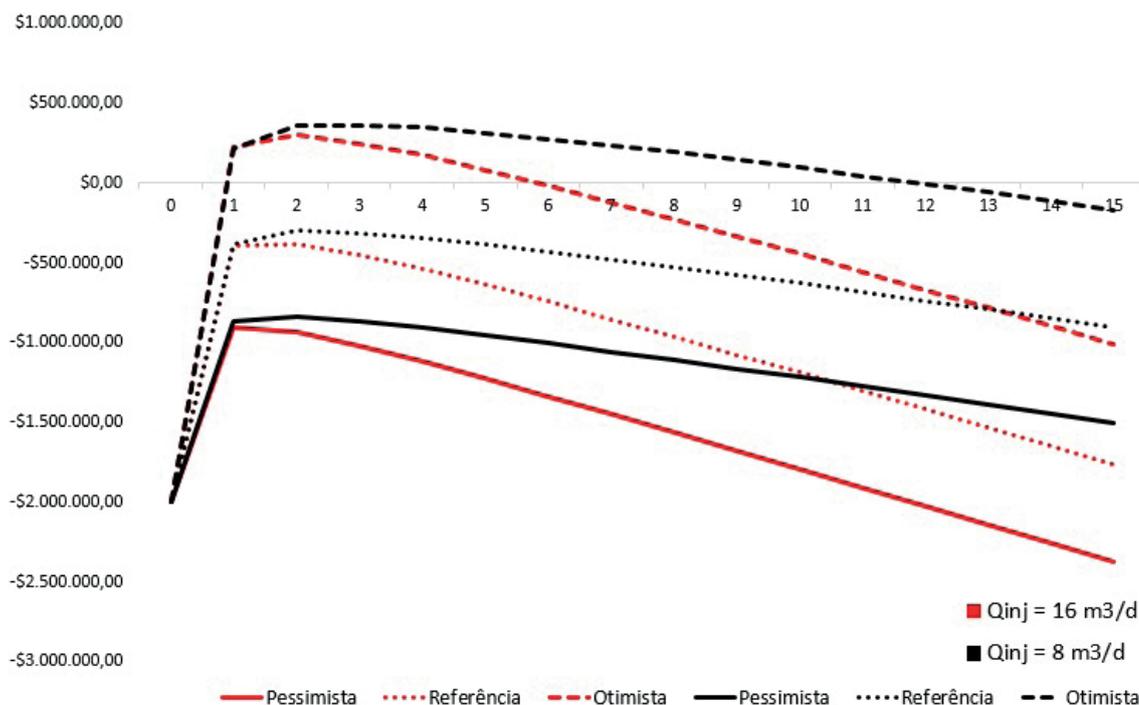


Figura 5 - VPL para o Reservatório A

Fonte: (Autor, 2018.).

Para o reservatório A e de acordo com a Figura 5, cujo cenário mais otimista foi o preço do barril de petróleo com valor de U\$ 100, os valores do VPL máximo para as vazões de 8 m³/dia e 16 m³/dia foram de U\$363.839,10 e U\$296.887,49, respectivamente. Ambos estão, portanto, com valores muito próximos entre si. Entretanto, os resultados mostraram também que ao se manter a vazão de injeção em 8m³/d conseguiu-se uma maior margem de lucro proveniente da diminuição dos custos envolvidos com a injeção e o tratamento da água produzida durante o projeto. Os cenários pessimista e de referência não resultaram em retornos econômicos atrativos durante todo o período de simulação.

Ao analisarmos a TIR para o projeto de 8m³/d obtemos o valor de 3,34%, o que demonstra que o projeto mesmo com uma margem de lucro não seria viável.

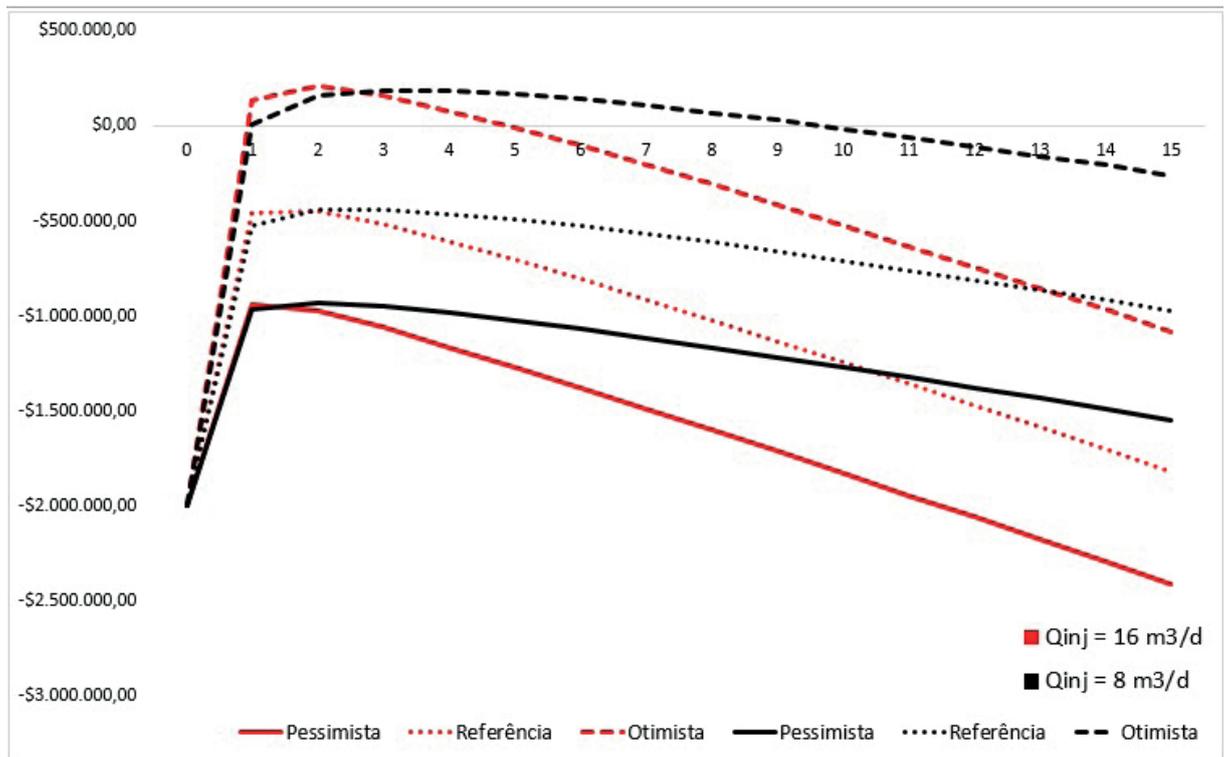


Figura 6 - VPL para o Reservatório B

Fonte: (Autor, 2018.).

Ao se analisar a Figura 6 também para o reservatório B, foi possível observar que para a vazão de 16 m³/dia o VPL máximo obtido foi de U\$206.493,75. Enquanto que para a vazão de 8 m³/dia o resultado foi de U\$187.227,14. Ainda de acordo com esta figura, ao se dobra a vazão de 8 m³/d para 16 m³/d houve uma antecipação no VPL máximo, ainda que um pouco discreta. Esta antecipação ocorreu no primeiro ano de projeto. Entretanto, para o caso da vazão de 16 m³/dia o projeto atingiu valores negativos acima do quinto ano de simulação, indicando, neste caso, sua pouca rentabilidade quando comparada com aquele onde a vazão manteve-se em 8 m³/dia. Também neste caso, os cenários pessimista e de referência não forneceram bons resultados em termos de atratividade econômica para o projeto.

Não foi possível se realizar o cálculo da TIR para o reservatório B, uma vez que mesmo para o projeto de 8 m³/d que apresentou maior lucratividade esse lucro foi considerado relativamente baixo.

5 | CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi possível obter um ajuste ideal de malha de simulação para uma malha de 25m², cujo tempo de simulação foi de 2min e 16 s. Foi possível também verificar um aumento no Fator de Recuperação através do aumento da vazão de injeção. Entretanto, de acordo com resultados obtidos foi possível observar que maiores aumentos de vazão não resultaram em acréscimos significativos no Fator de

Recuperação de óleo.

Com o aumento da viscosidade da água de injeção, melhorias no Fator de Recuperação foram observadas, destacando-se um acréscimo de 3,32% pontos percentuais observado no reservatório B. Entretanto, é importante destacar que uma análise econômica se faz necessária para comprovar a possível viabilidade de um projeto de injeção avançada com este tipo de método.

No estudo de sensibilidade foi observado que os parâmetros que mais influenciaram na produção acumulada foram a porosidade e a saturação inicial de óleo. As mudanças de permeabilidade do reservatório nas simulações realizadas não foram estatisticamente relevantes na melhoria do Fator de Recuperação para este estudo.

Na análise de viabilidade de investimento foi possível analisar a performance financeira dos projetos de injeção estudados anteriormente. Observou-se que o projeto com a maior margem de lucro foi o proposto para o Reservatório A para a vazão de injeção de 8m³/d, considerando a situação mais otimista com o barril de petróleo a 100 US\$, contudo a análise de TIR (3,34%) nos permitiu verificar que mesmo apresentando a maior lucratividade o projeto não apresenta uma boa taxa de retorno. Observou-se lucro para o Reservatório B, onde a maior margem foi dada pelo projeto com injeção de 8m³/d também para a situação de preço de barril de petróleo mais otimista, contudo o lucro observado no Reservatório B foi muito baixo se comparado com o Reservatório A. Já os projetos propostos para os Reservatórios C e D não pagaram nem o investimento inicial para nenhuma das situações analisadas.

REFERÊNCIAS

AZIZ, K; SETTARI, A. **Petroleum reservoir simulation**. Applied Science Publishers. Londres, 1979.

CRAIG JR., F. F. **The Reservoir Engineering Aspects of Waterflooding**. Society of Petroleum Engineers AIME. New York, 1971.

GLASO, O. "Generalized Pressure-Volume-Temperature Correlations." *Journal of Petroleum Technology* (May 1980): 785–795.

SILVA, M. do S. da. **Estudo paramétrico da injeção de polímeros em reservatórios de petróleo**. Natal – RN, 2014.

RODRIGUES, M. A. F. **Análise da viabilidade de injeção de fluidos alternativos ao vapor em reservatórios de óleo pesado**. UFRN, Natal – RN, 2012.

ROSA, A. J.; CARVALHO, R. S.; XAVIER, J. A. D. **Engenharia de reservatórios de petróleo**. 1 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

VALENTIM, P. C. **Análise econômica de um projeto de injeção de água aplicado a um reservatório com características do nordeste brasileiro**. UFRN, Natal, 2015.

APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE DE FALHA - FMEA NA INSTALAÇÃO DE BOMBEIO CENTRÍFUGO SUBMERSO (BCS) EM CAMPOS MADUROS ONSHORE NA BACIA DO RECONCAVO

Jeanderson de Souza Mançú

Faculdade Santíssimo Sacramento - FSSS
Alagoinhas - Bahia

Luiz Eduardo Marques Bastos

Universidade Salvador - UNIFACS
Salvador - Bahia

Raymundo Jorge de Sousa Mançú

Faculdade Santíssimo Sacramento - FSSS
Alagoinhas – Bahia

Graciele Cardoso Mançú

Faculdade de Tecnologia e Ciências da Bahia -
FATEC
Alagoinhas – Bahia

RESUMO: Dentre os métodos de elevação artificial de petróleo mais utilizados está o Sistema de Bombeio Centrífugo Submerso (BCS). O propósito deste sistema é produzir grandes volumes de fluidos, mas também bombear tais fluidos a partir de profundidades elevadas. O objetivo deste estudo foi pesquisar algumas das ferramentas e métodos de análise de falha aplicáveis na indústria do petróleo e propor aplicação de uma das ferramentas no processo de instalação dos equipamentos de sistemas BCS das empresas Beta e Delta, em poços produtores de petróleo localizados na Bacia do Recôncavo, no Estado da Bahia. A pesquisa foi realizada a partir de estudos em referências bibliográficas para contextualizar

a indústria, conceituar o método de elevação artificial através de sistemas BCS e tipos de ferramentas e métodos de análise de falhas nela utilizados. Para identificar e investigar a aplicação de ferramentas de análise da falha no sistema BCS, foram realizados estudos de caso em duas empresas, intituladas Beta e Delta. A partir dos resultados da análise e discussão foi observado que tais empresas não aplicam ferramentas de análise de falhas potenciais e nem Lista de Verificação durante a execução das tarefas. Sendo assim, foi indicada a aplicação da Ferramenta de Análise de Falha (FMEA) na fase de instalação dos equipamentos do sistema BCS.

PALAVRAS-CHAVE: Petróleo. Produção. Bombeio Centrífugo Submerso

ABSTRACT: Among the most widely used artificial oil lifting methods is the Submersible Centrifugal Pump (BCS). The purpose of this system is to produce large volumes of fluids, but also to pump such fluids from high depths. The objective of this study was to investigate some of the tools and methods of fault analysis applicable in the petroleum industry and to propose application of one of the tools in the process of installing BCS systems equipment of Beta and Delta companies in oil producing wells located in the Basin of the Recôncavo, in the State of Bahia. The research was carried out

from studies in bibliographical references to contextualize the industry, to conceptualize the artificial elevation method through BCS systems and to the types of tools and methods of fault analysis used in them. To identify and investigate the application of fault analysis tools in the BCS system, case studies were conducted in two companies, titled Beta and Delta. From the results of the analysis and discussion it was observed that such companies do not apply potential failure analysis tools or Checklist during the execution of the tasks. Therefore, it was indicated the application of the Fault Analysis Tool (FMEA) in the installation phase of the BCS system equipment.

KEYWORDS: Oil. Production. Submerged Centrifugal Pump

1 | INTRODUÇÃO

Consoante Thomas (2001), no Brasil, os campos terrestres têm uma participação de cerca de 5% da produção de petróleo total, espalhados numa grande extensão territorial, compostos por poços que apresentam métodos de elevação natural e artificial de petróleo, sendo os principais tipos: o poço Surgente (S); Gás *Lift* (GL); Bombeio Mecânico (BM); Bombeio de Cavidades Progressivas (BCP) e Bombeio Centrífugo Submerso (BCS), foco da pesquisa.

O método BCS necessita de cuidados especiais na operação dos equipamentos, devido aos riscos de contaminação do óleo lubrificante dielétrico, bomba com baixa eficiência, entupimento da admissão (*intake*), travamento/prisão ou quebra do eixo e dos impulsores da bomba centrífuga por decantação/deposição de areia, furo da tubulação ou da carcaça/camisa dos equipamentos do sistema BCS por corrosão e/ou incrustação, falha da vedação (orings - selo mecânico) do protetor e do motor, falhas nas emendas dos cabos elétricos trifásicos do motor, baixa isolamento e/ou aquecimento do motor e do cabo elétrico durante a operação, que podem impactar o desempenho da produção (OLIVEIRA, 2006; SLACK, 2007 e AFFONSO, 2006).

Coloca-se, portanto como questão de pesquisa a verificação de quais as ferramentas e os métodos são aplicáveis para identificar as falhas potenciais e propor melhorias na instalação dos equipamentos do sistema BCS em poços dos campos produtores de petróleo da Bahia utilizados pelas empresas Beta e Delta.

Este trabalho, portanto, apresenta estudos de caso de empresas que atuam na indústria do petróleo, através de instalação de equipamentos do sistema BCS em poços produtores de fluido multifásico e é realizada uma comparação entre as ferramentas e métodos de análise de falhas e sua aplicabilidade nos casos das empresas pesquisadas visando o aprimoramento do uso dos equipamentos e da melhoria do desempenho do sistema BCS.

2 | METODOLOGIA

2.1 O método de análise de falhas FMEA

Affonso (2006) caracteriza a falha de um componente de um equipamento quando ele não é mais capaz de executar a sua função de segurança. Já uma falha prematura é aplicável se o defeito ocorrer dentro do período de vida útil do componente a qual deve ser definida como critério de projeto e associada a um modo de falha específico, como uma fadiga superficial de um rolamento, desgaste da sede de selo mecânico, entre outros. A análise dessas falhas deve determinar os fatores que impediram que todas as fases da vida do equipamento fossem cumpridas com sucesso.

A técnica FMEA está estruturada para identificar:

- Possíveis modos de falhas;
- Efeitos de cada modo de falha;
- Causas dos modos de falhas;
- A severidade/gravidade do efeito;
- A ocorrência da falha (frequência);
- A ocorrência da falha;
- O índice de risco;
- Recomendações para elaborar o plano de ação.

Para Carpinetti (2010) e Filho (2011), o principal benefício da adoção do FMEA é o estabelecimento de uma sistemática de análise de falhas reais e potenciais, das causas e dos meios empregados para evitar ou detectar essas falhas, além de estabelecer um critério objetivo de priorização de ações de melhoria conhecido como RPN (Número de prioridade de risco).

Portanto, a partir dessas análises, torna-se relevante propor a aplicação de uma das ferramentas estudadas na instalação dos equipamentos do sistema de BCS das empresas Beta e Delta.

2.2 Os casos das empresas Beta e Delta

A fim de pesquisar e descrever as práticas de gestão das empresas Beta e Delta foi utilizado um instrumento de coleta de dados roteiro de entrevista semiestruturado, elaborado com perguntas específicas para os gestores e técnicos responsáveis pelos processos internos em estudo na fase de instalação do sistema BCS, com análise dos discursos.

Cada grupo de perguntas de entrevista procurou identificar e caracterizar os aspectos importantes das práticas de utilização de ferramentas e métodos de análise de falha no sistema BCS. O processo da coleta de dados foi realizado através de perguntas específicas aplicadas em duas etapas, conforme a seguir:

- O primeiro grupo de perguntas para identificação do entrevistado de cada empresa;
- E o segundo grupo de perguntas para atingir os objetivos específicos da pesquisa;

Foi realizada uma observação direta nos processos e atividades produtivas durante a pesquisa de campo.

Foram entrevistados um gestor, três engenheiros e quatro técnicos da empresa Beta e um gestor, dois engenheiros e três técnicos da empresa Delta, todos detentores de grande experiência neste equipamento com uma participação média de 30 instalações do equipamento BCS. A unidade da empresa Beta, localizada na Bahia, que atua no ramo de negócio envolvendo sistema BCS possui um quadro funcional de cerca de 20 funcionários.

A empresa Beta tem sua matriz situada na cidade do Rio de Janeiro e à época da Pesquisa possuía filiais em Macaé-RJ, Alagoas e Bahia, 100% brasileira. Fabricante de equipamentos, bombas e componentes para equipamentos de perfuração e produção de petróleo, também desenvolve projetos, fabricação de produtos e serviços para diversos segmentos industriais.

Está certificada na norma NBR ISO 9001:2008, aplicando os requisitos da gestão da qualidade e requisitos e especificação API Spec Q1 na gestão global da organização, com objetivo de garantir a melhoria contínua dos seus processos.

A empresa Delta é 100% brasileira, fundada em 1994, especializada na prestação de serviços técnicos para a indústria petrolífera e possuía à época da pesquisa uma estrutura industrial pronta para abrigar variados tipos de serviços na matriz situada na cidade de MacaéRJ. A filial da Bahia era a responsável pela operação de sistemas BCS em campos de clientes. O sistema de gestão global da empresa está estruturado com base nas normas ISO 9001 (gestão da qualidade), ISO 14001 (gestão ambiental) e no OHSAS 18001 (gestão da segurança e da saúde).

A pesquisa foi estruturada em quatro etapas, sendo a primeira sobre o processo de levantamento das informações das características dos poços; a segunda buscou identificar os procedimentos, custos e indicadores de desempenho no acompanhamento da operação do sistema BCS; a terceira mapeou os principais problemas identificados durante a operação do sistema BCS e a quarta etapa procurou identificar os procedimentos, responsáveis, competências necessárias, ferramentas de análise de falhas utilizadas pelas empresas, dificuldades encontradas no uso, documentação de análise gerada e recomendações de melhoria contínua em futuras análises de falhas.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Algumas das informações disponibilizadas pelos clientes das empresas

pesquisadas não são satisfatórias e em alguns casos divergem, para uma definição com qualidade da composição de equipamentos e acessórios do sistema BCS, que venha caracterizar a eficácia na sua instalação.

As informações históricas disponibilizadas pelas empresas concessionárias ou operadoras de campo de petróleo, quando apresentam desvios de qualidade ou não são realizadas de forma sistemática, contribuem para a falha prematura do sistema BCS por falta de submersão de fluido nos equipamentos, contribuindo principalmente para a queima do motor e/ou baixa isolação do cabo elétrico por aquecimento, já que a carcaça do motor opera com alta temperatura e, para realizar a refrigeração do motor, os fluidos devem passar pela carcaça do motor e efetuar a troca de calor para reduzir a temperatura da sua carcaça metálica.

Há escassez de informações sobre as características agressivas dos fluidos produzidos do poço/jazida, devido à falta de sistemática em laboratório, como abrasividade (concentração de areia na emulsão), salinidade, acidez, presença de CO₂ e H₂S, estes aceleram a redução da eficiência e do ciclo de vida dos equipamentos e acessórios do sistema BCS, por desgastes, corrosão e incrustação nas ligas metálicas da tubulação da coluna de produção. Como os poços são maduros, com cerca de 30 anos em produção, não há muitos dados históricos dos poços, principalmente referente aos fluidos produzidos e em alguns casos, não há um grau de certeza de que os dados representem a realidade dos poços e fluidos produzidos.

Outro ponto a ser observado em poços antigos é o grau de corrosão e incrustação identificada nos trechos da tubulação do revestimento do poço próximo do reservatório/jazida cujo contato com os fluidos agressivos, caracteriza riscos de prisão ou dificuldade de passagem dos equipamentos durante a intervenção de SPT no poço.

Desta forma, para os entrevistados, as informações disponibilizadas pelas empresas concessionárias e operadoras de campos produtores de petróleo, para auxiliar na composição e acompanhamento do sistema BCS, não são suficientes e em alguns casos têm baixo nível de qualidade.

Isto contribui para a baixa eficiência, aumento de perdas de produção e redução do ciclo de vida dos equipamentos. Isso ocorre porque, no passado, as empresas não tinham tecnologias para mapear todos os dados importantes desde a fase de perfuração até o acompanhamento da operação do poço, nem procedimento, nem pessoas com cultura para o detalhamento e gestão de informações históricas de cada poço.

Com base nas entrevistas dos técnicos de ambas as empresas e análise dos procedimentos operacionais (PO) da empresa Delta, foram definidas como prioritárias as seguintes atividades na instalação do sistema BCS:

- Fazer emenda do cabo chato do motor (*flat cable*) com o cabo chato ou redondo da coluna de produção;
- Conectar o *flat cable* no motor;

- Completar óleo dielétrico do motor e protetor para extrair ar;
- Fixar com abraçadeiras metálicas o cabo chato elétrico no motor e cabo chato ou redondo na coluna de tubos de produção;
- Medir a continuidade da corrente do motor e à cada dez tubos instalados;
- Instalar transformador de tensão;
- Instalar inversor de frequência / painel de controle;
- Instalar caixa de junção/ventilação de gases e conectar cabos elétricos (chato ou redondo);
- Concluir instalação elétrica dos equipamentos/componentes de superfície do poço;
- Parametrizar as variáveis de controle no inversor de parada por *overload*, *underload*, *overvolt*, *undervolt*, *volt unbalance*, *corrence unbalance* e o tempo de rearme/*start* do motor do sistema BCS;
- Dar partida no sistema BCS;
- Monitorar a corrente elétrica de operação;
- Analisar paradas no sistema BCS por *overload* (sobrecarga), *underload* (subcarga) ou por outros motivos a partir de dados acumulados no controlador lógico programável (CLP) do inversor de frequência;
- Acompanhar e analisar teste de produção bruta com base na curva da bomba; e
- Analisar registro do nível estático, nível dinâmico e submergência dos equipamentos de subsuperfície do sistema BCS.

As entrevistas sugerem que para acompanhar e monitorar o comportamento de operação do sistema BCS após a instalação em poço produtor de petróleo, as empresas concessionárias e operadoras de campos de petróleo devem definir, acompanhar e analisar alguns indicadores de desempenho mensal do sistema BCS para minimizar as falhas potenciais, como os listados a seguir:

- Teste mensal de produção igual ao range ótimo da bomba;
- Nível dinâmico mensal do poço testado;
- Corrente de operação por poço;
- Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) do poço;
- Perda de produção bruta (óleo+água);
- Perda de produção de óleo do poço; e
- Custo de elevação de petróleo pelo sistema BCS.

À época da pesquisa, as empresas Beta e Delta tinham contratos com empresas concessionárias e operadoras de campos produtores de petróleo da Bahia, de instalação do sistema BCS em 20 poços (empresa Beta), com tempo médio em operação de dois anos e a empresa Delta tem contrato para 55 poços, com sistema BCS operando há um ano.

O processo de análise de falha potencial na instalação do sistema BCS em poço produtor de petróleo está, como apontam as entrevistas, definido no procedimento de ação corretiva e preventiva da documentação do Manual de Qualidade (MQ) da empresa Beta, o qual indica a utilização da ferramenta e método de Análise Preliminar de Risco (APR) para este fim, assim como definido no Manual do SGI da empresa Delta, através da aplicação do diagrama de causas e efeitos no tratamento das anomalias.

O padrão define que a ferramenta e método de análise de falha potencial na instalação do sistema BCS é de responsabilidade dos engenheiros, técnicos de eletricidade e de instrumentação. Conforme os entrevistados, todos os envolvidos nesse processo são formados, capacitados, habilitados nas áreas de eletricidade, instrumentação, automação, receberam treinamento teórico na norma regulamentadora nº 10 e treinamento no local de trabalho em instalação, acompanhamento e monitoramento do sistema BCS em poço produtor de petróleo. Contudo, não foi apresentada uma evidência da utilização prática do estudo e análise de falha potencial na instalação do sistema BCS com aplicação do formulário de APR.

Os dados de entrevista revelam ainda que tanto a empresa Beta quanto a empresa Delta utilizam de forma sistematizada as ferramentas básicas da qualidade, como: o gráfico de Pareto, diagrama de *Ishikawa* (causa e efeito), gráfico de dispersão, histograma, *brainstorming* e outras, para auxiliar na análise de falha potencial através da técnica APR e do formulário de tratamento de anomalias.

Dada a importância e custo médio de aquisição de um sistema de BCS foi proposto aplicar o método FMEA, devido à possibilidade de adaptação e aplicação da técnica na análise de falha potencial e real na instalação do sistema BCS, por causa da geração de conhecimento com o resultado da análise e disseminação por toda organização, e pela possibilidade de ser aplicado nos diversos negócios das empresas.

Nesse sentido, a ferramenta de análise de falha FMEA contempla os principais questionamentos para identificar os modos e efeitos de falhas potenciais e recomendações para minimizar ou eliminar a causa potencial. As análises são realizadas por uma equipe multidisciplinar formada por técnicos e engenheiros das empresas Beta e Delta, com conhecimento e experiência na instalação do sistema BCS e na utilização da ferramenta

FMEA, sendo considerados todas as fases e componentes dos equipamentos de subsuperfície, superfície e dos serviços de instalação do sistema BCS.

Na análise comparativa entre os formulários de FMEA's do sistema BCS da empresa Beta e empresa Delta foram identificadas novos modos de falhas, causas, controles e ações recomendadas nos formulários do FMEA da empresa Delta, sendo:

- Na análise do motor BCS, foram identificados os seguintes novos modos de falha: *undervolt*, *overvolt*, *volt unbalance* e *current unbalance* durante o acionamento do BCS, tendo como causas a falha de enrolamento do motor e/ou transformador, e ou falha na rede elétrica, com recomendação de controlar e monitorar os dados de operação dos equipamentos e ajustar o *Set Point* no inversor de frequência, conforme formulário do FMEA.
- No modo de falha por contaminação do óleo dielétrico do protetor e do motor da BCS foi mapeado a nova causa: não extrair todo ar contido no interior do protetor e do motor e as ações para completar óleo dielétrico desses equipamentos e aplicar LV com tarefa de inversão dos *plugs* de completar óleo para extrair ar dos mesmos.
- Quanto ao modo de falha por baixa isolamento do cabo elétrico chato e redondo da empresa Delta foram identificadas as seguintes novas causas: danos, moossa, incrustação e/ou corrosão no revestimento do poço e uma nova ação para a sonda descer uma coluna de tubos de operação com raspador e sapata na extremidade, para condicionar o revestimento do poço a ser equipado com o sistema BCS.

A partir desses resultados e das ações dos demais formulários do FMEA foi recomendada a inclusão das mesmas nos procedimentos da empresa Beta e incluso na Lista de Verificação (LV), a ser utilizada na fase de instalação dos equipamentos no poço produtor de petróleo pelas empresas Beta e Delta, com destaque para a:

- Parametrização do inversor de frequência na superfície com as variáveis de controle de parada do sistema BCS por *overvolt*, e *undervolt*;
- Parametrização do inversor de frequência na superfície com as variáveis de controle de parada do sistema BCS por *volt unbalance* e *current unbalance*;
- Extrair 100% de ar do óleo dielétrico do motor e do protetor do sistema BCS, completando o óleo desses equipamentos no momento da instalação; e
- Esperar por cinco minutos de estabilização do óleo dielétrico nos equipamentos e recompletar, pela segunda vez, para garantir que o ar tenha sido expurgado.

Apartir das análises, resultados e observações na fase de aplicação dos formulários de FMEA foi proposta e elaborada uma Lista de Verificação (LV) estruturada em três etapas de atividades e tarefas a serem executadas, que tem como objetivo garantir que a equipe de técnicos responsáveis pela instalação do sistema BCS não esqueçam do programa de dimensionamento (projeto) de instalação em poço, ferramentas necessárias, equipamentos, acessórios, cuidados a serem tomadas e procedimentos/atividades/tarefas obrigatórios nesse processo, através do preenchimento e assinatura dos responsáveis na LV, durante a execução dos serviços de instalação da BCS no poço produtor de petróleo na fase de intervenção com SPT.

No entanto, após a equipe de análise dominar a ferramenta de análise de falha, ter conhecimento e experiência no sistema/processos a ser analisado, o próximo passo das empresas Beta e Delta será a definição e inclusão na matriz de padrões do Manual da Qualidade (MQ) e do Manual do SGI de um procedimento documentado com o diagrama de passo-a-passo para aplicação do FMEA na coleta de dados/informações, no preenchimento e análise das diversas fases do sistema BCS, ilustrado na Figura 1, para a identificação da causa raiz dos problemas/falhas e definição das recomendações, e assim minimizar ou eliminar as falhas potenciais e alcançar a melhoria contínua, incluindo também um modelo de tabela/planilha do FMEA, ambos anexos ao padrão.

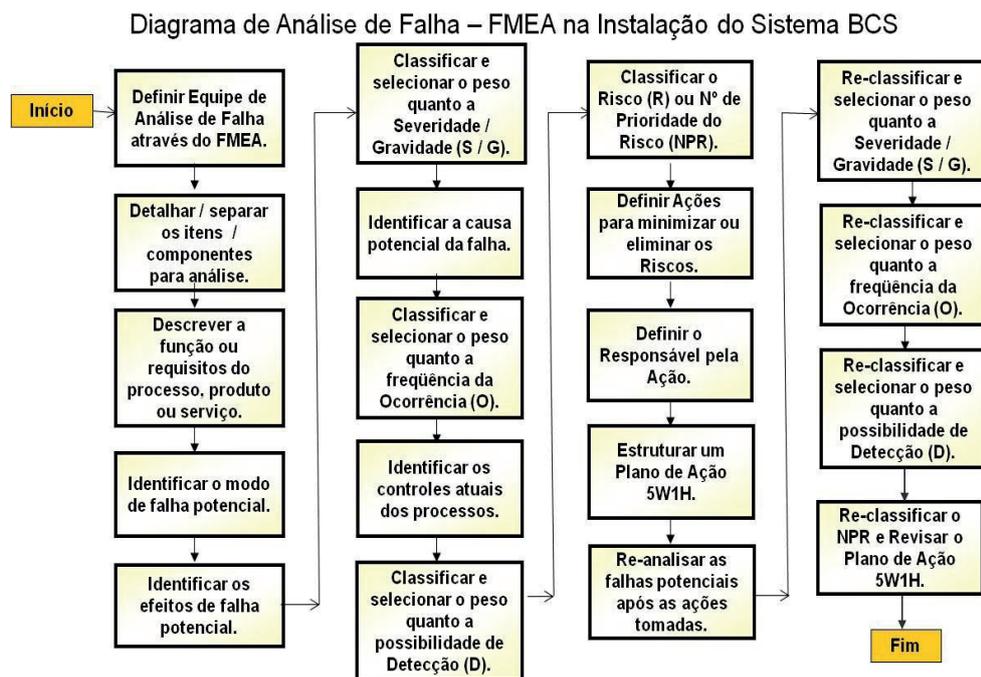


Figura 1: Diagrama com o passo-a-passo de análise de falha – FMEA na instalação, acompanhamento e monitoramento do sistema BCS das empresas Beta e Delta.

Elaborado pelos autores. Dados da pesquisa

Fonte: Própria

Desta forma, as tabelas estruturadas para aplicação da FMEA, a elaboração, aprovação e treinamento no procedimento facilitam o entendimento de todos os envolvidos na utilização da ferramenta de análise de falha, comunica a autoridade, responsabilidade e atribuições nas diversas fases da análise, conceitos, critérios, conteúdos e carga horária de treinamento e de comunicação das informações.

4 | CONCLUSÃO

Através do roteiro de entrevista foi possível concluir que as empresas Beta e Delta não utilizam ferramentas e métodos de análise de falha potencial para tomar

ações preventivas no processo de instalação dos equipamentos do sistema BCS. Estas utilizam apenas ferramenta de análise de falha ocorrida, seguindo a definição do Manual da Qualidade e do SGI das empresas estudadas, após uma falha/quebra do sistema BCS, através da aplicação da Análise Preliminar de Risco (APR) e de tratamento de anomalias, caracterizando um procedimento de ação corretiva.

Análises dos processos de instalação do sistema BCS foram realizadas por técnicos e engenheiros das empresas Beta e Delta através da aplicação da ferramenta FMEA e, com as ações recomendadas para eliminar/minimizar os riscos, foi proposta e elaborada uma lista de verificação (LV), para garantir que todos os possíveis riscos que porventura caracterizarem uma falha no sistema BCS sejam observados de forma proativa durante a instalação dos equipamentos.

A aplicação da ferramenta de análise de falha FMEA atingiu o seu objetivo porque estratificou em fases o sistema BCS para análise e propiciou a identificação das falhas potenciais, causas, número de prioridade de risco e ações recomendadas para eliminar a causa raiz de falha dos equipamentos do sistema BCS e serviços.

REFERÊNCIAS

AFFONSO, Luiz Otávio Amaral. **Equipamentos mecânicos: análise de falhas e solução de problemas**. 2. ed. – Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.

CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Gestão de qualidade: conceitos e técnicas**. São Paulo : Atlas, 2010.

FILHO, Frederico Wergne de Castro Araújo. **Automação da cadeia de suprimentos das empresas montadoras de microcomputadores via tecnologia RFID**. 2011, 145f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial) – Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. Salvador - BA, 2011.

OLIVEIRA, Pedro da S. **A operação do Bombeamento Centrífugo Submerso**. Apostila. Petrobras. Macaé: 2006.

SLACK, Nigel. et ali. **Administração da Produção**. 2. ed. 7. reimp. São Paulo, Atlas, 2007.

THOMAS, J E. et al (organizador). **Fundamentos de engenharia de petróleo**. Rio de Janeiro : Interciência, PETROBRAS, 2001.

APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO (CEP) COMO MÉTODO DE CONTROLE DA QUALIDADE PARA A SECAGEM DE CAFÉ

Uilla Fava Pimentel

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias
Alegre – Espírito Santo

Gildeir Lima Rabello

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias
Alegre – Espírito Santo

Willian Melo Poubel

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias
Alegre – Espírito Santo

RESUMO: A secagem é um dos principais fatores que influenciam na qualidade do café. O processo de secagem, assim como todo processo industrial, está sujeito ocorrência de perturbações e variabilidade, podendo comprometer a eficiência do processo e qualidade do produto final. Neste contexto, controle de qualidade aplicada a secagem dos grãos de café se torna essencial para obtenção de um processo de secagem eficiente. Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a controlabilidade de duas variáveis do processo de secagem através do controle estatístico processos (CEP) e realizar uma análise do processo de secagem a partir da umidade calculada. A partir da realização do experimento e análise estatística dos dados foi observado

que o processo está fora de controle, porém se enquadra nos limites de especificação (LSRE).

PALAVRAS-CHAVE: Controle Estatístico de Processos (CEP), Secadores de Café Rotativos Horizontais, Qualidade, Secagem do Café.

ABSTRACT: Drying is one of the main factors that influence coffee quality. The drying process, as well as any industrial process, is subject to occurrence of perturbations and variability, which may compromise process efficiency and final product quality. In this context, quality control applied to the drying of coffee grains becomes essential to obtain an efficient drying process. Thus, the objective of this work was to characterize the controllability of two variables of the drying process through statistical control processes (CEP) and perform an analysis of the drying process from the calculated moisture. From the accomplishment of the experiment and statistical analysis of the data, it was observed that the process is out of control, but it fits within the limits of specification (LSRE).

KEYWORDS: Statistical Process Control (CEP), Horizontal Rotary Coffee Dryers, Quality, Coffee Drying

1 | INTRODUÇÃO

A secagem é um dos principais fatores

que influenciam na qualidade do café e conseqüentemente no seu valor comercial. (MOREIRA, 2015) O processo de secagem consiste na remoção ou diminuição da quantidade de água no produto, a fim de reduzir o crescimento e proliferação de microrganismos deteriorantes e preservar as suas características. Nesse cenário, estudar os fatores que influenciam na taxa de secagem são importante uma vez que se relacionam com a qualidade do produto. Alguns desses fatores são: condições do processo (temperatura, pressão, umidade relativa entre outros); características do material a ser seco (concentração de soluto, área superficial entre outros). (JOAQUIN, 2015; VIRGÍNIA, 2010).

É inerente dos processos industriais a ocorrência de variabilidade, independentemente de quão bem o processo foi projetado e operado. Em plantas industriais, um grande número de variáveis de processo devem ser mantidas sob limites especificados para que a planta opere de forma adequada. (MACGREGOR, 1988). Marins (2006) afirma que um conjunto de técnicas estatísticas vem sendo amplamente utilizadas para garantir que o processo esteja de acordo com os padrões estabelecidos.

Logo, o controle de qualidade estatístico torna-se necessário ao processo de secagem. Uma das técnicas do controle de qualidade é o Controle Estatístico do Processo (CEP) que permite analisar o comportamento do processo; auxiliar na obtenção dos padrões de qualidade; e reduzir a variabilidade em torno dos padrões especificados (REIS, 2001).

Este trabalho tem como objetivo analisar a estabilidade do processo de secagem de café em um secador rotativo horizontal utilizando o controle estatístico de processos (CEP), a fim de analisar a controlabilidade das variáveis e indicar maneiras para melhorar a eficiência do processo.

2 | METODOLOGIA

O sistema estudado consiste em um secador de café rotativo horizontal (Figura 1), localizado em uma propriedade rural próxima ao distrito de Santo Antônio do Muqui, na cidade de Mimoso do Sul, no estado do Espírito Santo. E pertence a associação de moradores do distrito. O secador constitui-se de um cilindro horizontal (5) que contém, em seu interior, sistema de distribuição de ar formado pela tubulação e câmara de distribuição. Inicialmente, o café úmido presente em uma moega de alvenaria (1) abastece o cilindro por meio de um transportador (2). Inicia-se o processo de secagem rotativa. Para isto, ar atmosférico é aquecido em um forno (3) e injetado para dentro do cilindro com o auxílio de um ventilador (4). Este ar aquecido atravessa a massa do produto realizando a secagem do grão. Durante a secagem, deve-se alimentar a fornalha continuamente de forma manual.



Figura 1- Secador de Café

Fonte: Autor (2017).

O experimento foi realizado no dia 07 de maio de 2017, foi acompanhado a secagem dos grãos de café robusta (*Coffea Canephora*) durante 20h. Foi realizado medidas de temperatura (amostra, entrada do ar externo e interno) e coleta de alíquotas de café, a cada 1h de processo. Os equipamentos utilizados foram: um termopar, um medidor de umidade e uma Balança semi-analítica.

Foi determinada a umidade do café pelo método da estufa para todas alíquotas coletadas, seguindo metodologia de Luz (2006).

A umidade do café pode ser expressar por dois modos: base úmida (b.u.) e base seca (b.s.). A umidade contida nos grãos em base úmida é a razão entre o peso da água presente na amostra e o seu peso inicial (SILVA, 2008). A determinação da umidade foi utilizada para plotar as Figuras 2 e 3.

Para a utilização da CEP foram obtidos os gráficos de controle para as variáveis (temperatura da amostra, temperatura de entrada do ar obtida pelo termopar acoplado ao equipamento). Os gráficos para média (\bar{X}) e amplitude (R) foram obtidos utilizou-se o software R commander versão 3.3.2 de acordo com as metodologias propostas por Marins (2006) e Garcia (2000).

3 | RESULTADOS

Com os dados da umidade determinados foram construídos gráficos para análise do processo de secagem, Figura 2 e 3.

Para a CEP plotou-se os gráficos apresentados nas figuras 4 e 5. Onde LSC= Limite superior de controle; LIC= Limite inferior de controle.

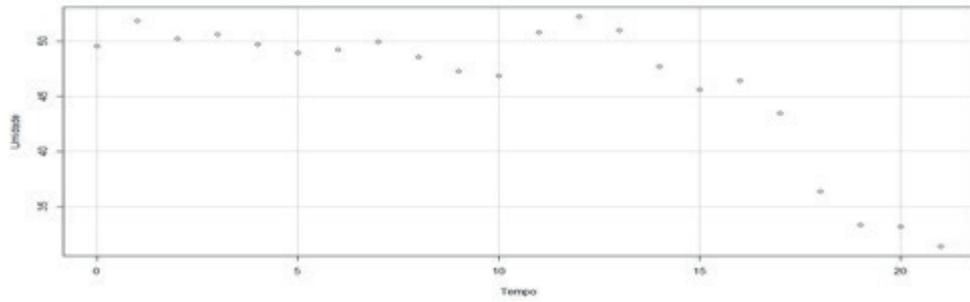


Figura 2- Umidade da Amostra calculada pelo método da estufa ao longo do tempo de secagem.

Fonte: Autor (2017).

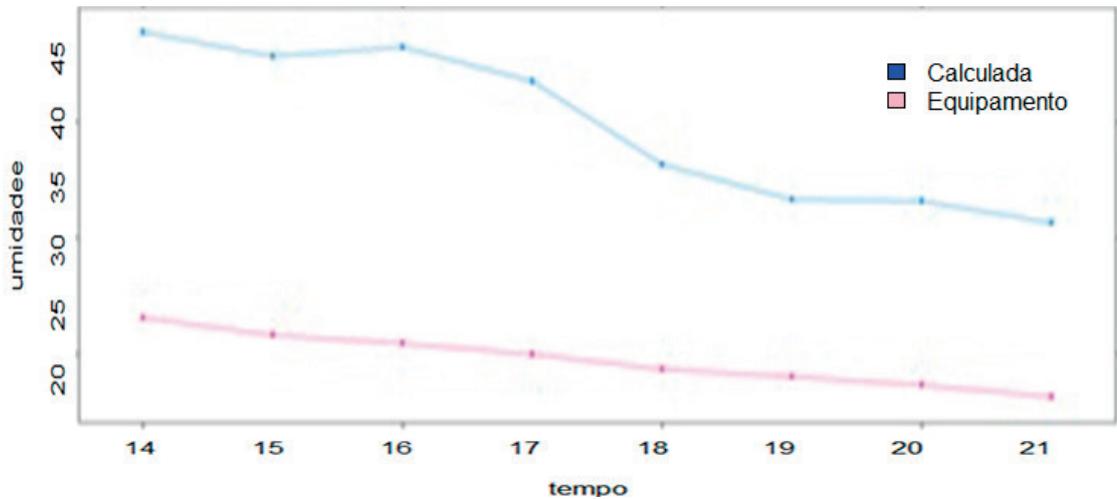


Figura 3- Comparação entre os valores de umidade obtidos.

Fonte: Autor.

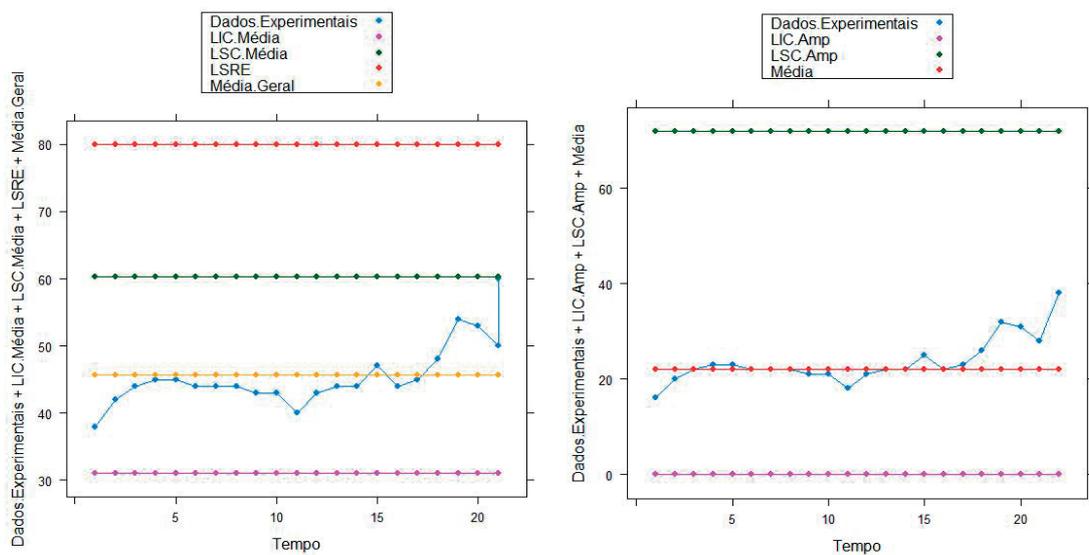


Figura 4- Gráfico de X e R, respectivamente, referente ao controle da temperatura da amostra.

Fonte: Autor.

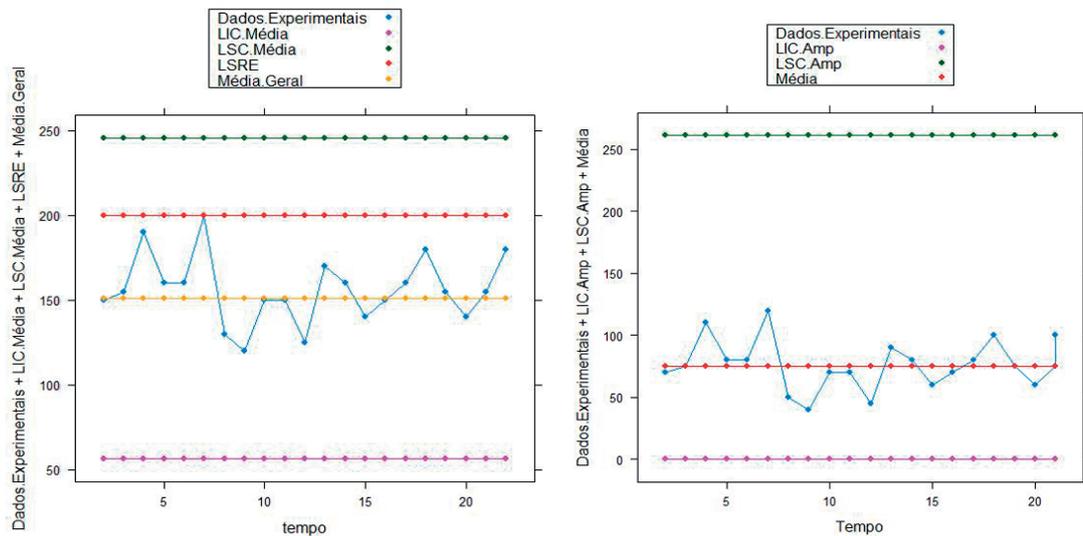


Figura 5- Gráfico de X e R, respectivamente, referente ao controle da temperatura de entrada do ar obtida pelo termopar acoplado ao equipamento.

Fonte: Autor.

4 | DISCUSSÃO

Pela Figura 2, foi possível acompanhar a queda da umidade dos grãos pelo tempo de secagem, e observar que a queda de umidade ocorrer somente após 15h, pois acredita-se que instantes iniciais os grãos estão sendo aquecidos, após o aquecimento, o processo de transferência de massa da água do grão para a atmosfera se procede. No intervalo de 10 a 15h foi identificado um aumento da umidade, tal fato não se justifica fisicamente, atribui-o a ocorrência de erros de medição. As possíveis fontes de erros dos dados constatadas provem: equipamentos de medidas; falhas humanas; perda de massa das amostras durante transporte, pesagem e acondicionamento; secagem ineficiente dos grãos.

Na Figura 3, corresponde ao gráfico de dispersão múltipla dos dados de umidade obtido pelo método da estufa e pelo equipamento (medidor de umidade). Neste gráfico, identifica-se que ambas as metodologias de determinação de umidade seguem a mesma tendência, porém os valores são diferentes. Tal discrepância se justifica pelos erros já constatados. Cabe ainda destacar, que os medidores de umidade presentes no mercado apresentam, normalmente, faixas de medição de 8% a 25% fazendo com que se acompanhe os valores de umidade somente durante as horas finais do processo de secagem, desta forma, o método da estufa foi uma opção encontrada para obter o valor de umidade em todos os instantes de tempo do experimento.

A partir dos gráficos de 4 e 5 é possível determinar a controlabilidade do processo, para isso todos os pontos plotados devem estar dentro dos limites e nenhum comportamento sistemático deverá ser evidenciado. Autores afirmam que é desejável ter de 20 a 25 amostras ou subgrupos de tamanho n (tipicamente n está entre 3 e 5)

para calcular os limites de controle teste. Contudo, é possível trabalhar com menos dados, porém os limites de controle serão menos confiáveis. (MONTGOMERY, 2013)

Dessa forma, nota-se a partir das figuras 4 e 5 que tanto a temperatura da amostra, e a temperatura de entrada do ar apresentam-se fora controle estatístico. Essa situação indica que causas não aleatórias estão agindo sobre as variáveis. Contudo, seguem as recomendações exigidas ou limite de especificação (LSRE) seguida pelos produtores da associação. Cabe destacar, que não foi possível obter n maior ou igual a 3 subgrupos em virtude da dificuldade em descascar o café úmido no intervalo de tempo das medições, principalmente nas condições iniciais.

Mesmo com o comportamento das temperaturas dentro dos padrões aceitáveis pelos produtores, existem algumas medidas a serem adotadas para torna o processo controlável e diminuir a variação de temperatura da amostra, fator que influencia na taxa de secagem e qualidade do produto final. Algumas medidas a serem adotadas é a realização de treinamentos e conscientização dos trabalhadores que alimentam a fornalha, como também utilizar madeira com mesmas características e preparo, como corte, para evitar que a temperatura aumente por um período e diminua em outro o que atrasar a secagem e pode até mesmo levar a queima do produto.

É importante destacar, que este trabalho está servindo como análise de erros para melhoria. A realização de um único experimento aconteceu devido ao período de colheita do café, que na região se restringe de março a maio.

5 | CONCLUSÃO

Com este trabalho foi possível estudar e analisar a secagem do café no secado rotativo horizontal durante as 20h de secagem, e perceber que o processo é caracterizado por duas etapas principais (elevação da temperatura do café e perda de água dos grãos). Onde a temperatura de entrada do ar, possui sinais de fora de controle estatístico, o mesmo acontece com a temperatura da amostra. Em ambos os casos de controle não são críticos, pois estão dentro da LSRE, e podem ser corrigidas com intervenções no processo, como uniformização da madeira ao alimentar a fornalha e treinamento dos trabalhadores.

Para análises futuras sugere-se: calcular o erro de cada medição, a fim de analisar a sobreposição dos pontos considerando seus erros; realizar a coleta de 3 ou mais alíquotas de café para cada intervalo medido; reduzir o intervalo das medições.

Além disso, cabe destacar que até o presente momento há poucos trabalhos encontrado na literatura que tenha feito a abordagem científica de controle estatístico de processos proposto. O que explicita a importância deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- GARCIA, Marilese Dellamora. **Uso Integrado das Técnicas de HACCP, CEP e FMEA**. 2000. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- JOAQUIN, Tito Nahun Mancilla. **Modelagem e Simulação de um secador intermitente de fluxos contracorrentes para frutos do cafeeiro**. 2015. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2015.
- LUZ, Maria Laura G.s.. **Determina Determinação de umidade nos umidade nos grãos**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas Faculdade de Engenharia Agrícola, 2006. 55 slides, color.
- MACGREGOR, J. F. **On-line Statistical Process Control, Chemical Engineering Progress**, 84 (10), 21 (1988).
- MARINS, Cristiano Souza; OLIVEIRA, Erik da Silva; FREITAS, Daniela de Oliveira. **Um estudo de caso sobre a aplicação do Controle estatístico de processo (CEP) como metodo de controle da qualidade**. Xiii Simpep, SP, nov. 2006.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 513p.
- MOREIRA, Rodrigo Victor. **Caracterização do processo de secagem do café natural submetido a diferentes métodos de secagem**. 2015. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- REIS, Marcelo Menezes. **Um modelo para o ensino do Controle Estatístico da Qualidade**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.
- SILVA, Juarez de Sousa; AFONSO, Adriano D.L.; DONZELES, Sergio M. L. **Secagem e secadores**. In: SILVA, Juarez de Sousa (ed). *Secagem e armazenagem de produtos agrícolas*. 2ed. - Viçosa: Ed. Aprenda Fácil. 2008. cap 5. p. 109-146.
- VIRGÍNIA, P. R. **Secagem de café: Uma Revisão**. 2010. 45f. Monografia (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

LEVANTAMENTO COMPARATIVO SERGIPE VS BRASIL DO CONSUMO, COMERCIALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO GÁS NATURAL AO LONGO DE 10 ANOS

Raí Melo de Oliveira

Universidade Tiradentes

Aracaju – SE

Thereza Helena Azevedo Silva

Universidade Tiradentes

Aracaju – SE

Marcela de Araújo Hardman Côrtes

Universidade Tiradentes

Aracaju – SE

RESUMO: O presente trabalho tem por objetivo comparar, compreender, analisar e discutir as alterações do consumo, comercialização e distribuição do Gás Natural Sergipe vs. Brasil, por meio de um levantamento de dados, entre 2006 e 2016, utilizando-se de sites oficiais e da distribuidora SERGAS. O desenvolvimento de tecnologias provenientes do gás natural advém desde meados do século XIX, a partir daí investimentos foram realizados, proporcionando um aumento no consumo de gás natural (GN) no estado de Sergipe, bem como no Brasil. Em decorrência do crescimento na utilização de GN a Lei do Gás foi criada, para incentivar o investimento privado, promovendo a eficiência e universalização do acesso dos consumidores ao gás. De acordo com as análises foram gerados gráficos e tabelas que puderam mostrar a evolução do consumo, comercialização e distribuição que o estado e o país obtiveram.

Ainda, pela deficiência em infraestrutura, déficit de dutos e falta de capitalização nem o estado em o país usufruem plenamente das vantagens que a utilização do gás natural pode oferecer economicamente e ambientalmente.

PALAVRAS-CHAVE: Gás natural; Consumo; Distribuição.

ABSTRACT: The purpose of the present work is to compare, understand, analyze and discuss the changes in the consumption, commercialization and distribution of Natural Gas in Sergipe vs. Brazil scenario, through a data survey, from 2006 to 2016, using official websites and the SERGAS distributor. The development of technologies from natural gas came from the mid-nineteenth century, then investments were made, providing an increase in the consumption of natural gas (NG) in the state of Sergipe, as well as in Brazil. As a result of the growth in the use of NG, the Gas Law was created to encourage private investment, promoting the efficiency and universal access of consumers to gas. Through the analysis, graphs and tables were made enabling to show the evolution of the consumption, commercialization and distribution that the state and the country obtained. Also, due to deficiencies in infrastructure, pipeline deficits and lack of capitalization, neither the state nor the country do not fully enjoy the advantages that the use of natural gas can offer

economically and environmentally.

KEYWORDS: Natural Gas; Consumption; Distribution.

1 | INTRODUÇÃO

A Lei do Gás, nº 11.909/09, visa a instituição de normas para a exploração econômica e atividades de tratamento por meio de condutos, importação, exploração, processamento e comercialização do fluido em todo território brasileiro.

O mercado brasileiro de gás natural é recente e se localiza principalmente nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Bahia. Este combustível encontra-se em maior quantidade associado ao petróleo. Embora tendo registrado autossuficiência em sua relação reservas/produção conforme abordado por Prates (2006); em 2016 o cenário econômico registrou uma redução da oferta nacional e pequena variação da demanda total de gás natural, havendo, assim, a necessidade de importação do mesmo (MME, 2016).

Com o aumento da produção do gás natural muitas funções e utilidades vêm sendo desenvolvidas, a começar pelas instalações de luminárias, passando pela cocção, pelo uso automotivo, industrial, comercial e residencial, registrando ao longo dos anos, um crescimento acentuado, de modo a torná-lo parte integrante da matriz energética mundial (IEE-USP, 2016).

Portanto, o trabalho visa comparar, compreender, analisar e discutir as alterações do consumo, comercialização e distribuição do Gás Natural Sergipe vs Brasil, de modo a ampliar o conhecimento acerca desse fluido em virtude de suas vantagens econômicas e ambientais.

2 | METODOLOGIA

A metodologia utilizada no trabalho consiste de pesquisa e levantamento de dados de 2006 a 2016 em sites oficiais como: Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado (ABEGAS), do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), da PETROBRAS e da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), compilação dos mesmos, análise e discussão. Além de entrevista com os responsáveis pelo gerenciamento do gás natural da Sergipe Gás S.A. (SERGAS).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Comparativo do consumo de gás natural Brasil vs. Sergipe

Com a crescente demanda do gás natural, tal fluido vem ganhando espaço na matriz energética brasileira; diante da variedade de aplicações desse hidrocarboneto se destacam os segmentos: industrial, automotivo, residencial, comercial, geração elétrica e cogeração. Em números percentuais a representação média do consumo de gás natural no Brasil e em Sergipe no período analisado, demonstra de maneira mais evidente os segmentos mais representativos para o país e para o estado, como pode ser visto na Figura 1.

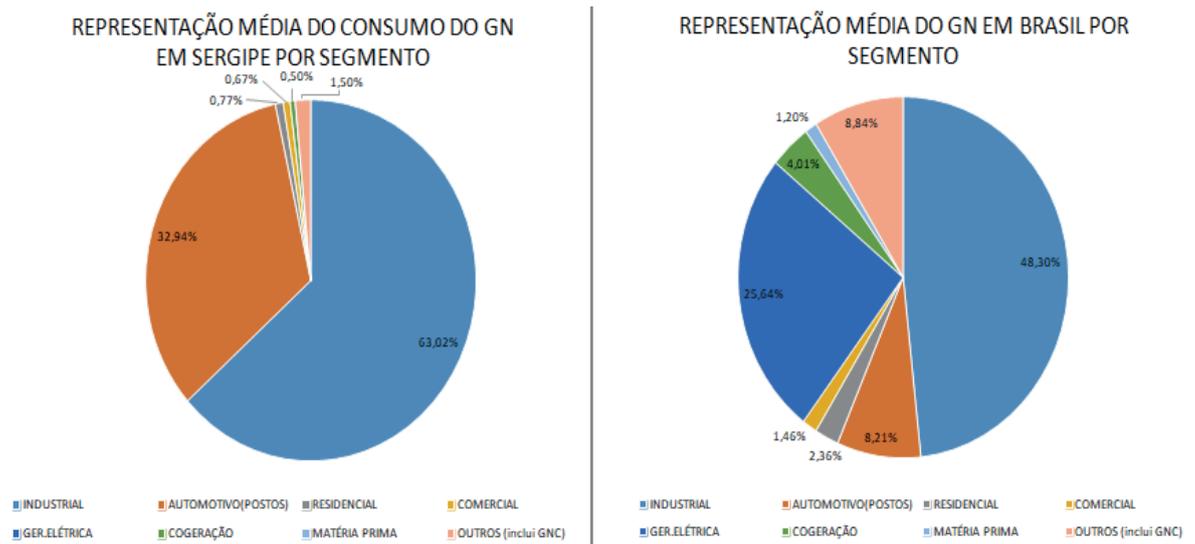


Figura 1: Representação média do consumo de gás natural em Sergipe e no Brasil.

Quando se compara o consumo médio por segmento Brasil vs. Sergipe, nota-se que ambos têm como âncora do consumo, o setor industrial, que possui representação média no período analisado de aproximados 48% e 63% respectivamente, deixando clara a importância das indústrias no estado de Sergipe e no Brasil, assemelhando-se aos dados da ANP (2011).

A geração elétrica possui um consumo médio 25,64% no Brasil, ou seja, pouco mais de ¼ do uso brasileiro de gás natural, que é justificado pela presença das termelétricas, enquanto que em Sergipe não há representação para esse segmento no mesmo período.

O setor automotivo que no Brasil representa 8,21% do consumo de gás brasileiro possui suas particularidades em Sergipe, apresentando um valor 32,94%, quatro vezes maior que o consumo em todo país. As oscilações do consumo no estado se deram com o “boom” na conversão de carros que utilizavam combustíveis convencionais (gasolina, etanol e diesel) para o GNV. Entretanto, sucessivas quedas no consumo de gás natural surgiram com a necessidade de instalação do kit GNV. Outro fator importante é a maior autonomia do mercado da gasolina, pois este tem condições de fornecer uma relação custo/benefício equiparada ao gás natural, apesar disso o

segmento ainda possui alta representatividade no estado (ABEGAS, 2016).

O segmento residencial, que representa 2,36% na matriz do gás natural brasileira tem valor de 0,77% em Sergipe, apesar dos valores discrepantes, esse segmento apresentou um incrível aumento de consumo no estado de 666% de 2006 a 2016, firmando-se como segmento promissor e alvo de investimentos sólidos da distribuidora sergipana SERGAS.

Os segmentos comercial e de cogeração e outros (matéria prima e GNC) somam juntos 2,67% da representação do consumo de gás natural no estado, enquanto no Brasil esses segmentos somam 14,31%. Valores não tão expressivos em números, porém, alvos de futuros investimentos das distribuidoras, pelas vantagens econômicas e ambientais proporcionadas pela aplicação do gás natural (ANP, 2011).

3.2 Comparativo da distribuição do Gás Natural Sergipe vs. Brasil

Com o aumento da visibilidade nas vantagens econômicas do gás natural, muitos investimentos aconteceram, dentre eles a evolução das malhas de distribuição. Dessa maneira, pode-se ver essa evolução tanto no Brasil quanto em Sergipe na Figura 2.

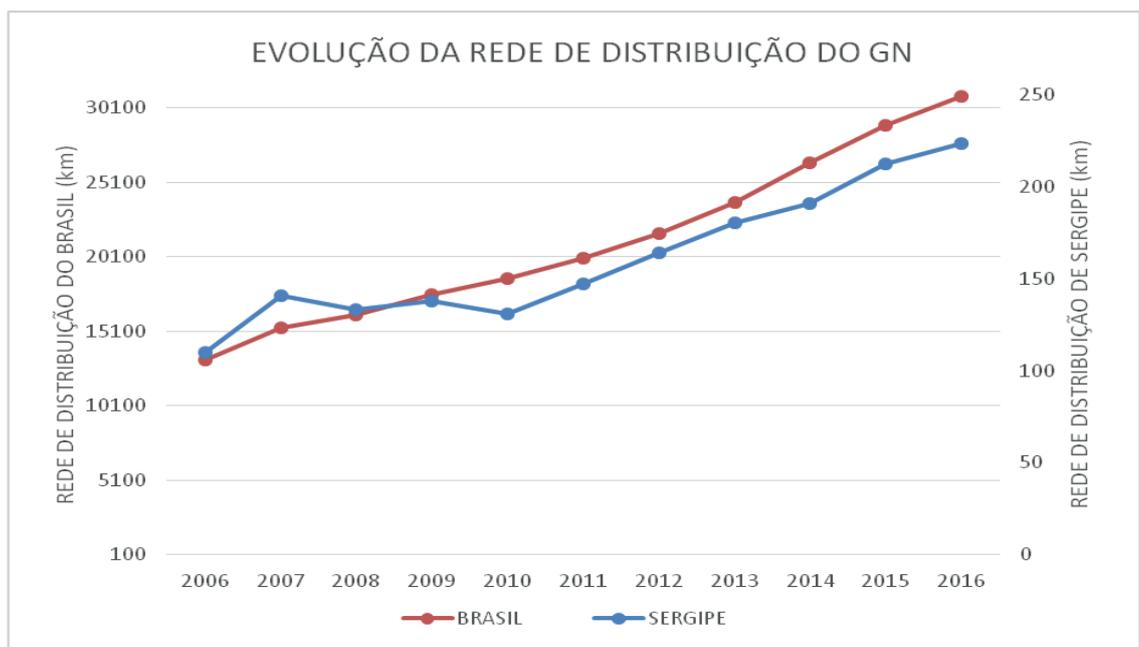


Figura 2: Evolução da rede de distribuição do gás natural Sergipe vs. Brasil em 10 anos.

De acordo com a figura há uma crescente evolução da malha de distribuição no Brasil. Esta, que em 2006 contava com 13.182,4km de extensão e passou para 30.897,20km em 2016, correspondendo a um aumento acumulado de 57,33%.

Apesar de eventuais alterações na situação política e econômica do país, as 27 distribuidoras brasileiras apostaram no aumento da malha de distribuição para consolidar o mercado do gás natural no país. Em 2009, quando os demais setores da economia sentiam os impactos da crise econômica mundial iniciada em 2008, houve um aumento de 1366,5km na extensão da malha brasileira.

De acordo com Mendes *et al* (2015), o aumento da malha de distribuição do gás natural está diretamente relacionado com o crescimento do número de clientes que passaram a adotar o gás natural como fonte de energia. Em 2006, os clientes do gás natural somavam 1.260.373, esse número saltou para 2.951.204 clientes em 2016, representando 57,33% de aumento ao longo do período (ABEGAS, 2016).

O panorama sergipano, por sua vez, apresenta um comportamento diferente do brasileiro. Vale destacar o pico apresentado em 2007, resultante da implementação de três gasodutos em Sergipe, são eles: Carmópolis – Pilar, Atalaia – Itaporanga e Itaporanga – Carmópolis que aumentaram consideravelmente a malha de distribuição sergipana e possibilitaram investimentos em capilarização da rede.

Entretanto, a existência de oscilações sucessivas entre 2006 e 2010 comprovam a fragilidade do mercado sergipano no período, puxada, principalmente, pela redução na comercialização para o segmento industrial, advinda da falta de competitividade do gás natural em relação aos outros combustíveis. Neste momento, a falta de política energética e o alto preço de custo do gás natural reduziram os investimentos na rede de distribuição (ANP, 2011).

Apartir de 2010, a completa funcionalidade do Gasbol acrescida da implementação da Lei do Gás, ocorrida em 2009, possibilitou o interesse de um maior número de investidores e o estabelecimento de um preço mais consolidado, a rede de distribuição do gás natural no estado de Sergipe passou a crescer continuamente, sem quedas até o período analisado (ANP, 2011).

A relação número de clientes/evolução da malha também pode ser observada em Sergipe, quando em 2006 eram 83 clientes consumindo gás natural nas suas atividades de todos os segmentos e em 2016, 20.868 clientes, esses dados representam um aumento de 99,6%, segundo dados da Abegás (2016).

Os segmentos de aumento mais expressivo foram o residencial e comercial, respectivamente. Em 2006 o segmento residencial contava com 17 clientes e o comercial com 19, já em 2010 esses valores saltaram para 20.652 clientes e 133, respectivamente, assim, observa-se um aumento de quase 100% no setor residencial, ao passo que o percentual de aumento no setor comercial foi de 85,7%. Esses números estão intrinsecamente relacionados ao aumento da malha, uma vez que para haver um aumento tão expressivo da rede de distribuição residencial é necessário que haja investimento e capilarização da rede, como é apresentado na figura 2.

3.3 Comparativo entre a evolução do preço do GN e a malha de distribuição

A relação entre aumento da malha de distribuição e queda do preço do gás natural pode ser visualizada na Figura 3.

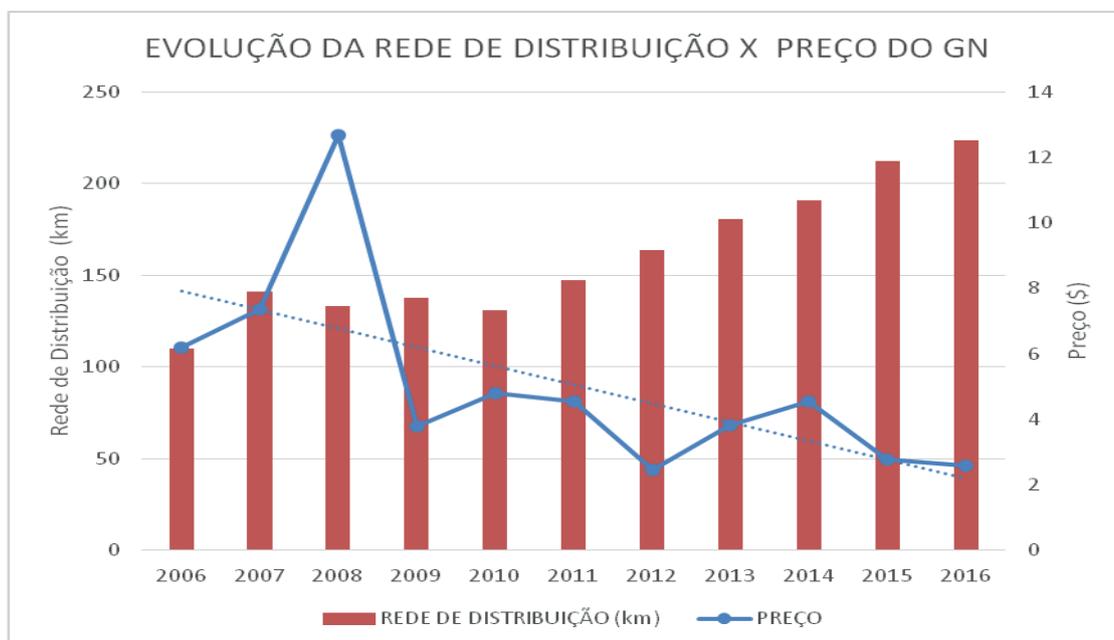


Figura 3: Evolução da rede de distribuição vs. preço do gás natural no Brasil.

No ano de 2007, a Petrobrás anunciou um reajuste no preço do GN para compensar os custos da estatal com a exploração do produto e os investimentos adicionais que foram feitos na Bolívia para que se atingisse a rentabilidade desejada. Dessa maneira, o aumento no preço do GN que vinha sendo moderado desde 2006, aproximadamente 18,5%, atingiu um aumento em 2008 de 72,5%, representando um aumento de 7,35 \$/MMBTU para 12,68 \$/MMBTU. Esses acontecimentos são claramente vistos no pico da Figura 3 em 2008. Em 2009, o preço do GN teve queda significativa, porém seu consumo ainda estava abalado devido ao seu alto custo e a falta de incentivo ao mesmo. Nos anos seguintes o GN sofreu oscilações, variando seu preço de 4,8 \$/MMBTU, em 2010 para 2,57 \$/MMBTU em 2016, variação negativa de 66% nesses seis anos (GOMES, 2011, ABEGÁS, 2016).

Em 2014, outro reajuste prejudicou a competitividade GN. O reajuste de 1,57%, em média, realizado pela Petrobras fez o gás natural chegar a 4,01 \$/MMBTU. O preço deste não ultrapassava os \$4,00 desde 2011, assim, as indústrias do gás natural foram prejudicadas: “Os combustíveis substitutos do gás natural vêm sendo subsidiados e tendo até preços congelados, o que cria uma distorção imediata na produção industrial. Não queremos subsídios e sim, preços igualitários”, disse o presidente da ABEGÁS na época. A linha de tendência na figura mostra a queda do preço entre 2006 e 2016.

A malha de distribuição que oscila até 2010, devido à instabilidade do consumo de gás natural na época, passa a ter um crescimento contínuo nessa data, de modo a ter um aumento de aproximadamente 34%, de 2010 até o ano de 2016.

4 | CONCLUSÕES

No período analisado, foi possível concluir que o segmento de maior representatividade no Brasil é o industrial, porque as indústrias brasileiras, devido ao seu porte, consomem grande volume de gás natural, sendo este o setor âncora.

Sergipe, por sua vez, tem como principais segmentos, o industrial e automotivo. O segmento industrial se assemelha ao panorama brasileiro, sendo o suporte do consumo de gás natural no estado; quanto ao setor automotivo, este abarca um percentual representativo quatro vezes maior que o brasileiro, mesmo estando em decadência nos últimos anos.

A rede de distribuição brasileira no período analisado apresentou crescimento contínuo, o que não acontece no estado, que passa por um período de oscilações entre 2007 e 2009, sendo este comportamento fortemente influenciado pela crise econômica mundial iniciada em 2008.

Com a recuperação econômica do país em 2010, as oscilações da rede de distribuição observada nos anos anteriores, cessam, crescendo continuamente até o ano analisado, fruto do investimento da distribuidora na capilarização de sua malha. Porém, o comportamento do preço é adverso, sofrendo oscilações ocasionadas pelo mercado e pela competição com os combustíveis tradicionais.

O presente trabalho foi de significativa importância na compreensão das alterações de consumo, comercialização e distribuição de gás natural tanto no estado de Sergipe quanto no país. Pôde-se perceber tanto os fatores que influenciaram nas alterações de comportamento como sua relevância no estado, demonstrando que apesar de uma representatividade ainda pequena, este combustível tem potencial de alavancar investimentos que vão contribuir para a matriz energética sergipana e brasileira, pois o mesmo é fonte de energia limpa e rentável.

REFERÊNCIAS

ABEGÁS. **Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado**. Disponível em: <<https://www.abegas.org.br/Site/>>. Acesso em: 15 dez. 2016.

ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 8 dez. 2016.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **O Novo Marco Regulatório da Indústria Brasileira de Gás Natural: Oportunidades trazidas pela Lei do Gás**. 2011.

BNDES. **Banco Nacional do Desenvolvimento**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home>>. Acesso em: 12 dez. 2016.

BOLETIM MENSAL DE ACOMPANHAMENTO DA INDUSTRIA DE GÁS NATURAL. Brasília: MME, Ed. 107, jan. 2016.

BRASIL. **Lei nº 11.909, de 4 de março de 2009**. Dispõe sobre as atividades relativas ao transporte

de gás natural, de que trata o art. 177 da Constituição Federal, bem como sobre as atividades de tratamento, processamento, estocagem, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural; altera a Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Legislativo, Brasília, DF, 05 mar. 2009. Seção 1, p. 1.

GOMES, M. J.; **Estudo do Mercado Brasileiro de Gás Natural Contextualizado ao Shale Gas**. 2011. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2011.

INSTITUTO de Energia e Ambiente – Universidade de São Paulo (IEE-USP). **Histórico do Gás Natural no Brasil**. Disponível em: <<http://200.144.182.130/iee/prh4/?q=hist%C3%B3rico-do-g%C3%A1s-natural-no-brasil>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

MENDES, A. P. A.; TEIXEIRA, C. A. N.; ROCIO, M. A. R., CUPELLO, N. C.; COSTA, R. C.; DORES, P. B. **Mercado de gás natural no Brasil: desafios para novo ciclo de investimentos**. BNDES Setorial, n. 42, p. 427-470, Rio de Janeiro-RJ, set. 2015.

PETROBRÁS. **Petróleo Brasileiro S.A.** Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/>>. Acesso em: 21 nov. 2016.

PRATES, C. P. T.; PIEROBON, E. C. F.; VINÍCIUS, S. **Evolução da oferta e da demanda de gás natural no Brasil**. BNDES Setorial, n. 24, p. 35-68, Rio de Janeiro - RJ, 2006.

SERGAS. **Sergipe Gás S/A**. Disponível em: <<https://www.sergipegas.com.br/>>. Acesso em: 5 dez. 2016.

REDE NEURAL DE ELMAN APLICADA NA PREVISÃO DE PREÇOS DE COMBUSTÍVEIS

Renan Pires de Araújo

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Engenharia de Petróleo
Natal – Rio Grande do Norte

Adrião Duarte Dória Neto

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
Departamento de Computação e Automação
Natal – Rio Grande do Norte

Andrés Ortiz Salazar

Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Engenharia de Petróleo
Natal – Rio Grande do Norte

RESUMO: Com o advento dos carros flex, os motoristas puderam escolher com qual combustível abastecer seus carros, etanol ou gasolina. Esta novidade trouxe benefícios para o consumidor principalmente no tocante ao lado financeiro, pois, mesmo sendo consumido mais rápido, dependendo do preço nas bombas, é mais vantajoso escolher o etanol que a gasolina. Assim, este trabalho tem como objetivo principal treinar uma rede neural para realizar a previsão dos preços de venda do etanol e da gasolina a fim de verificar em que meses um ou outro combustível é mais econômico. Para isto foi treinada uma rede de Elman com dados retirados da ANP, cujos resultados indicaram

que de abril a outubro de 2015 foi mais rentável escolher o álcool e de novembro de 2015 a março de 2016, a gasolina.

PALAVRAS-CHAVE: previsão, rede neural, combustível.

ABSTRACT: With the advent of flex cars, the drivers have been able to choose which fuel to fill in their cars, either ethanol or gasoline. This novelty brought benefits for the consumer principally related to the financial side, because, even being consumed faster, depending on the price at the pump stations, it is more profitable to choose the ethanol than the gasoline. So, paper has as the main objective to train a neural network to realize a forecast of the ethanol's and gasoline's selling prices to verify in which months one or another fuel is more economic. For this purpose, it was trained an Elman network with data extracted from ANP, whose results indicated that from April 2015 to October 2015 it was more profitable to choose the alcohol and from November 2015 to March 2016 the gasoline.

KEYWORDS: forecast, neural network, fuel.

1 | INTRODUÇÃO

Com a crise do petróleo na década de 1970, os países procuraram introduzir em suas

matrizes energéticas outras fontes de combustíveis para seus veículos ou então aperfeiçoar e ampliar o uso destes combustíveis, caso suas tecnologias já existissem. No caso do Brasil, uma das opções foi o desenvolvimento do programa Pró-Álcool, que visava a inserção do etanol na matriz energética veicular. Porém, segundo Ferreira [2009], no final dos anos 1980, percebeu-se que a oferta de etanol para abastecimento no Brasil estava sendo reduzida, forçando os donos de carros a álcool converterem seus carros a fim de serem movidos a gasolina, iniciando, de certa forma, o conceito de carros flex – denominação dada aos carros que podem ser abastecidos tanto com gasolina quanto com etanol, culminando com o primeiro protótipo em 1994 e acesso aos consumidores em 2003.

De acordo com Brum *et al.* [2015], a gasolina é mais econômica para o abastecimento em veículos frente ao etanol devido ao seu maior rendimento energético, mesmo apresentando preço de venda maior, porém, no quesito ambiental, o abastecimento com etanol é mais recomendado, pois sua queima libera vapor d'água, enquanto que a queima da gasolina libera compostos poluentes, como o metano e o gás carbônico. Como o fator de escolha do combustível, na maioria das vezes, é o preço relativo entre a gasolina e o etanol, o uso de ferramentas matemáticas e computacionais auxiliaria na decisão.

Uma rede neural artificial é um modelo computacional que visa simular o cérebro humano. Para tal, o conhecimento é adquirido por meio do treinamento da rede e armazenado nas sinapses na forma de vetores pesos [PASCHOALINO *et al.*, 2007]. A Figura 1 ilustra a comparação entre o neurônio biológico, presente no cérebro humano, e o neurônio artificial, presente na rede neural.

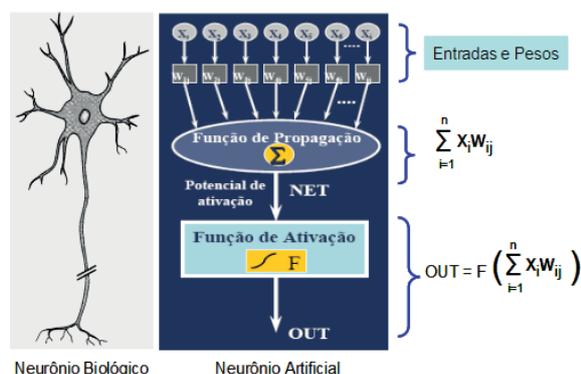


Figura 1: Similaridade entre os neurônios biológico e artificial.

Fonte: Paschoalino *et al.*, 2007.

As informações de diversos neurônios da vizinhança são recebidas na camada de entrada (dendritos), ponderadas com relação ao seu peso sináptico (potencial elétrico), somados e, ao atingir certo valor limite, o sinal é propagado através da sinapse para outro neurônio, após a aplicação da função de ativação.

Duas propriedades atrativas da aplicação das redes neurais na resolução de

problemas são a capacidade de generalização (pode generalizar o resultado do treinamento para outros dados de entrada similares) e a habilidade de aproximação universal de funções (a partir de um conjunto de treinamento, descobrir a função que rege os dados de entrada por meio da saída) [MENEZES JÚNIOR & BARRETO, 2011]. Estas duas habilidades são importantes na previsão de séries temporais, visto que, quando aplicado em situações reais, como cotação do dólar ou demanda energética, a função que rege o sistema não é conhecida e o próximo valor é dependente do anterior.

As redes de Elman são redes neurais recorrentes, que são sistemas dinâmicos com propriedades sensitivas a sequências temporais. Este tipo de rede apresenta na camada de entrada neurônios adicionais, chamados de unidades de contexto, que interagem exclusivamente com outros neurônios das camadas ocultas da rede [ANDRADE & SILVA, 2011]. A Figura 2 ilustra uma rede neural de Elman.

Para entender a estrutura de uma rede de Elman, considere uma sequência de entradas a serem processadas e um relógio que regula a apresentação das entradas para a rede neural. Além disso, os valores iniciais das unidades de contextos são escolhidos. A partir disso, o processamento da rede consistiria na seguinte sequência de eventos.

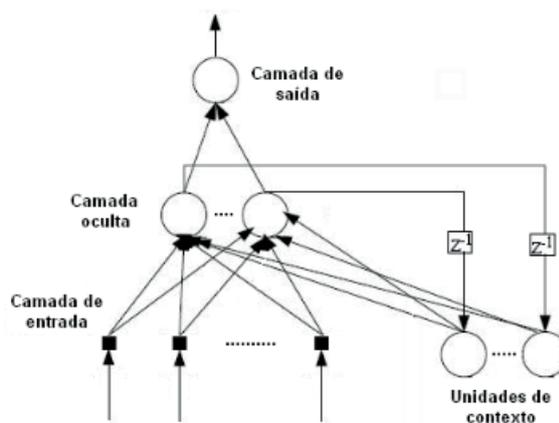


Figura 2: Modelo de rede neural de Elman.

Fonte: Andrade & Silva, 2011.

Segundo Andrade & Silva [2011], no tempo t , a camada de entrada recebe a primeira entrada da sequência, que dependendo do problema pode ser um valor escalar ou um vetor. Tanto a camada de entrada como as unidades de contexto ativam a camada oculta que, por sua vez, ativa a camada de saída, como também ativam de volta as unidades de contexto. Dependendo da tarefa, pode ou não ocorrer uma fase de aprendizado nesse ciclo de tempo. Caso ocorra o treinamento, as saídas obtidas são comparadas com as saídas desejadas e o erro propagado de volta é usado para o ajuste dos pesos sinápticos, ao passo que os pesos das conexões recorrentes apresenta valor fixo igual a 1.

No passo seguinte de tempo ($t + 1$), a sequência é repetida, com o fato de que as unidades de contexto contêm, agora, valores que são exatamente os valores da camada oculta no tempo anterior t .

O objetivo deste trabalho é utilizar uma rede neural de Elman para a previsão de preços de etanol e gasolina e, através de um tomador de decisão, indicar qual o combustível mais barato para o abastecimento de um carro flex.

2 | METODOLOGIA

As amostras de preços dos combustíveis foram obtidas dos boletins mensais da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, disponíveis no site da instituição, do período de abril de 2010 a março de 2016, totalizando 72 amostras, das quais as 60 primeiras, correspondentes ao período abril de 2010 a março de 2015, foram utilizadas para o treinamento da rede de Elman, enquanto que as 12 restantes, referentes ao período de abril de 2015 a março de 2016, foram usadas para a verificação da capacidade preditiva da rede. Esta divisão de amostras foi adotada para os dois combustíveis analisados (gasolina e etanol hidratado).

Com relação às redes, fez-se uso do *Neural Network Toolbox*, do *software* MATLAB 2010. Inicialmente objetivou-se identificar as quantidades de neurônios das camadas ocultas. Para isso, foi adotado o processo de tentativa e erro, tendo como critério de escolha aquela quantidade que promovesse a melhor resposta em comparação com a curva resultante das amostras empregadas para verificação. Foi utilizada apenas uma camada oculta.

Com o intuito de verificar qual combustível, entre gasolina e etanol, um motorista deveria escolher para abastecer seu veículo de passeio a fim de economizar, foi realizado o seguinte cálculo, já amplamente divulgada e de conhecimento público: multiplicou-se o valor da gasolina por 0,7 e, caso o valor obtido fosse superior ao preço do etanol, escolhe-se o etanol; por outro lado, se fosse inferior, deve-se escolher a gasolina [BRUM *et al.*, 2015].

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os preços da gasolina foram realizadas 6 tentativas, para 5, 8, 10, 11, 12 e 15 neurônios, cujas respostas estão ilustradas na Figura 3. Inicialmente foram testadas redes com 5, 10 e 15 neurônios na camada oculta, sendo observado que o melhor resultado de predição no momento foi obtido com 10 neurônios. Em seguida, foram testados valores intermediários (8 e 12 neurônios), que resultou no melhor ajuste, ainda mais que o obtido com 10 neurônios, quando adotados 12 neurônios. A opção de usar 11 neurônios foi para verificar se a resposta alcançada seria ainda melhor que

a com 10 e 12 neurônios, fato que não correspondeu com a expectativa.

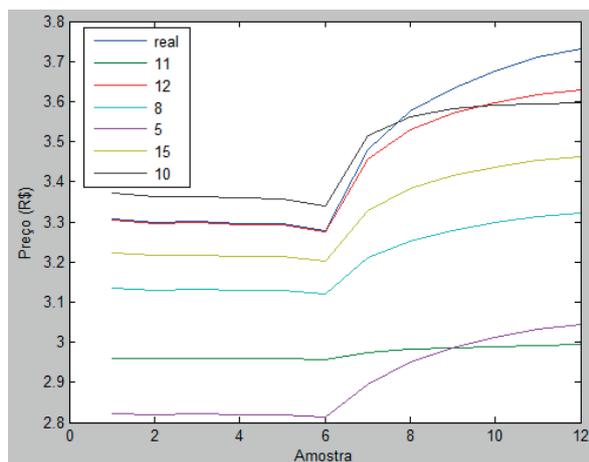


Figura 3: Comparação das curvas obtidas para a gasolina.

Fonte: Autor.

Por meio da Figura 3 foi possível verificar que a predição dos preços da gasolina foi mais bem realizada quando se empregou 12 neurônios na camada oculta da rede de Elman, visto que a rede conseguiu prever o valor das 6 amostras iniciais de verificação e apresentou um erro relativo máximo de 2,7 % nas 6 amostras restantes.

Para os preços do etanol hidratado foram realizadas 6 tentativas, para 10, 11, 12, 13, 14 e 15 neurônios. A Figura 4 ilustra as curvas dos melhores resultados obtidos para a predição dos preços do etanol, sendo que o resultado mais próximo foi alcançado com a utilização de 15 neurônios, com erro relativo máximo de 1,40 %.

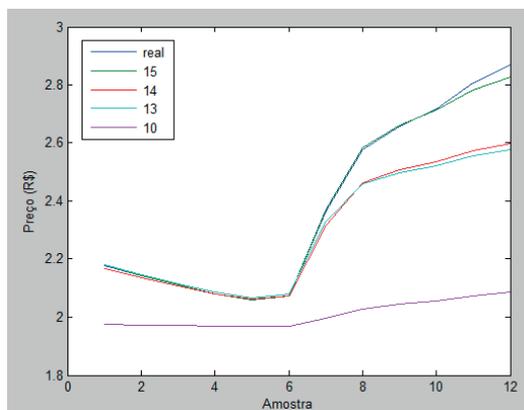


Figura 4: Comparação das curvas obtidas para o etanol.

Fonte: Autor.

A Figura 5 ilustra o gráfico dos preços empregados como os padrões usados para a simulação das redes da gasolina, após a multiplicação, e do etanol.

Como pode-se ver, durante os meses de abril de 2015 até outubro do mesmo ano, foi mais rentável para os motoristas o abastecimento com etanol e nos meses seguintes, relativos aos meses de novembro de 2015 a março de 2016, o abastecimento com gasolina foi o mais rentável.

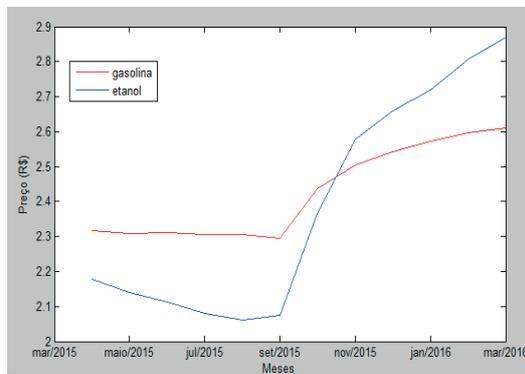


Figura 5: Comparação dos preços reais da gasolina, multiplicado por 0,7, e do etanol.

Fonte: Autor.

A fim de identificar em quais momentos seria conveniente abastecer um carro com gasolina ou com etanol, foi produzido um sistema tomador de decisão com base na regra citada acima. Na Figura 6 está ilustrada a decisão resultante do tomador de decisão sobre que combustível ser comprado, sendo o valor de 0,8 relativo à compra do etanol e 0,2 relativo à compra da gasolina.

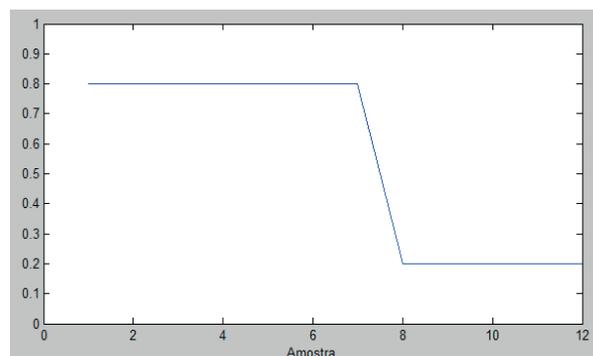


Figura 6: Resultado do tomador de decisão relativo à escolha do combustível.

Fonte: Autor.

De acordo com a Figura 6, assim como identificado anteriormente, nos sete primeiros meses dos meses simulados o abastecimento com etanol foi mais viável economicamente, ao passo que nos cinco meses finais, a gasolina foi o combustível de melhor opção.

4 | CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos, foi possível observar que as redes neurais de Elman treinadas obtiveram êxito na previsão dos preços dos combustíveis avaliados, com alto nível de acerto, e que, por meio de um sistema tomador de decisão, foi possível a identificação de qual combustível foi mais rentável para abastecer o automóvel nos meses avaliados.

5 | AGRADECIMENTOS

À CAPES, à Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e aos meus orientadores do mestrado pela possibilidade de realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. C. M.; SILVA, I. N. **Redes neurais recorrentes de Elman para previsão de demanda de energia elétrica no curtíssimo prazo**. Anais do Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, X, São João Del-Rey – MG, 2011.

BRUM, S. F.; SOUZA, C. C.; FAVERO, S.; REIS NETO, J. F.; BONO, J. A. M. **Fatores que influenciam o proprietário de veículo flex fuel da região da Grande Dourados no consumo do combustível etanol**. Revista ADMpg Gestão Estratégica, Congresso Internacional de Administração, 2015.

FERREIRA, F. **Toda inovação contida no “Flex”**. Conhecimento & Inovação, Campinas – SP, v. 5, n. 3, jul./set., ISSN 1984-4395, 2009.

MENEZES JÚNIOR, J. M. P.; BARRETO, G. A. **Extensões da rede recorrente de Elman para predição não-linear de séries temporais caóticas: um estudo comparativo**. Anais da Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações, X, 2011.

PASCHOALINO, F. F.; LOUREIRO, T. Y. C.; MELO, J. C. C. B. S.; BIONDI NETO, L. **Previsão de demanda de energia elétrica no Brasil utilizando redes neurais de Elman**. Anais do Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, Rio de Janeiro – RJ, 2007.

BIOPROSPECÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA MANUFATURA DE BIODIESEL

Débora da Silva Vilar

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos
Aracaju – Sergipe

Milson dos Santos Barbosa

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos
Aracaju – Sergipe

Isabelle Maria Duarte Gonzaga

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos
Aracaju – Sergipe

Aline Resende Dória

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos
Aracaju – Sergipe

Lays Ismerim Oliveira

Universidade Federal de Sergipe, Engenharia Ambiental e Sanitária
Aracaju – Sergipe

Luiz Fernando Romanholo Ferreira

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos
Aracaju – Sergipe

RESUMO: O constante incremento do consumo de combustíveis derivados de petróleo, tem ocorrido como resultado da elevada demanda energética. Por essa razão, esse aumento de produção de combustíveis fósseis promove

inovações tecnológicas voltadas à cadeia produtiva de processos verdes. A partir de então, o biodiesel surgiu como uma alternativa promissora na produção de combustíveis líquidos e/ou produtos de valor agregado. Nesse sentido, a prospecção tecnológica abre espaço para estudos quantitativos em determinada linha de atuação, como uma ferramenta analítica. Nesse contexto, o propósito desse trabalho foi a realização da prospecção tecnológica do biodiesel e seus subprodutos, a fim de obter a evolução anual da pesquisa, assim como os processos tecnológicos e as qualificações das revistas indexadas com mais artigos científicos. **PALAVRAS-CHAVE:** Prospecção tecnológica. ferramenta analítica. bioprocessos.

ABSTRACT: The constant increase in the consumption of petroleum-derived fuels has occurred because of the high energy demand. For this reason, this increase in the production of fossil fuels promotes technological innovations aimed at the productive chain of green processes. Since then, biodiesel has emerged as a promising alternative in the production of liquid fuels and / or value-added products. In this sense, technological prospecting opens space for quantitative studies in a particular line of action, as an analytical tool. In this context, the purpose of this work was to carry out the technological prospecting of biodiesel and its

by-products in order to obtain the annual evolution of the research, as well as the technological processes and the qualifications of the journals indexed with more scientific articles.

KEYWORDS: Technological prospecting. analytical tool. bioprocesses.

1 | INTRODUÇÃO

A prospecção tecnológica tem chamado atenção de diversos grupos de pesquisa, uma vez que mensura os resultados de pesquisa e desenvolvimento em determinado setor industrial. Além disso, permite o mapeamento de processos científicos e tecnológicos que podem antecipar possíveis novas tecnologias ou necessidades emergentes no âmbito da economia e na sociedade como um todo (QUINTELLA *et al.*, 2009; FAGUNDES *et al.*, 2014). A avaliação da situação atual de patentes tem se mostrado uma atraente estratégia de ampliação de mercado e melhoria da competitividade, já que, após o período de privilégio, o invento cai em domínio público, o que pode derivar em novas apropriações do conhecimento tecnológico, com investimentos menores dos que os praticados na patente original, além de proporcionar subsídios a futuros projetos científicos (CANONGIA *et al.*, 2002; LI *et al.*, 2012). A partir de então, a prospecção tecnológica ou pesquisa de anterioridade, promove incentivos a pesquisa científica e tecnológica, à disseminação do conhecimento prático e econômico, assim como a criação de novos mercados e ao desenvolvimento das necessidades da sociedade (FERREIRA *et al.*, 2009; REEVES *et al.*, 2017).

Dentro das exigências da sociedade atual, as questões ambientais, o esgotamento a médio prazo do petróleo e a crescente demanda por energia, impulsionam cada vez mais o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis baseadas em matérias-primas renováveis (REEVES *et al.*, 2017). Neste cenário, o biodiesel surgiu como uma alternativa aos combustíveis derivados do petróleo, para ajudar a atender às demandas de fornecimentos energéticos e contribuir para a redução das emissões de gases poluentes (FUKUDA *et al.*, 2001; PANDEY, 2011). A maior parte dos artigos e patentes está focada nas etapas de reação, separação e purificação, onde processo reacional mais utilizado para a produção de biocombustíveis, majoritariamente o biodiesel, é a transesterificação, no qual esse método se restringe a utilização de matérias-primas de alta qualidade e com características dos óleos refinados (GOG *et al.*, 2012).

O processo de transesterificação possibilita uma sequência de três reações reversíveis e consecutivas, em que os monoacilglicerídeos e os diacilglicerídeos são os intermediários (SANTOS *et al.*, 2017). Em suma, a transesterificação ocorre entre óleos vegetais e álcoois na presença de catalisadores ácidos ou básicos (DU *et al.*, 2007; PARK *et al.*, 2015). Na catálise ácida existe a necessidade de uma elevada quantidade de álcool para a obtenção do biodiesel em rendimentos satisfatórios (LEE,

2014). Na catálise básica, por sua vez, não é necessário tanto excesso de álcool, mas geralmente são observadas reações de saponificação, o que promove dificuldade de purificação dos ésteres formados (AMINI *et al.*, 2017). Em ambos os casos, as reações são conduzidas a altas temperaturas, além da ocorrência de corrosão dos sistemas reacionais provocados pelo meio altamente básico ou ácido, sendo necessário uma grande quantidade de água para a purificação dos ésteres (FUKUDA *et al.*, 2001; LEE, 2014).

Com intuito de minimizar estas desvantagens e problemas ao meio ambiente, esforços científicos e tecnológicos tem buscado o desenvolvimento de bioprocessos para desenvolver ou modificar processos e produtos para obtenção de biodiesel tendo como princípio fundamental o uso de sistemas biológicos (enzimas, microorganismos ou células animais e vegetais). A transesterificação biotecnológica tornou-se uma atrativa alternativa, uma vez que gera um menor gasto energético e o principal subproduto (glicerol) produzido pode ser facilmente recuperado e a purificação dos ésteres é relativamente simples (FUKUDA *et al.*, 2001; YANG *et al.*, 2012).

Neste contexto, a proposta deste trabalho é avaliar a prospecção tecnológica do biodiesel e sua cadeia produtiva, através de consultas de banco de dados de artigos e patentes, que envolve a evolução anual de artigos e patentes, tempo em depósito e publicação de patentes, tipo de depositante, número de patentes por seções, subseções, grupos e subgrupos, países detentores do conhecimento científico e do desenvolvimento tecnológico, processos tecnológicos e seus co-produtos, qualificações das revistas indexadas com mais artigos científicos, assim como o fator de impacto de cada revista e o tempo entre a submissão e publicação.

2 | METODOLOGIA

A pesquisa de anterioridade de artigos científicos e patentes foi realizada filtrando as publicações e registros entre os anos de 2008 e 2017, utilizando as combinações das palavras-chave *Biodiesel and Biomass*, *Biodiesel and Enzyme*, *Biodiesel and Biocatalysis* e *Biodiesel and Bioprocess* no portal de periódicos Web of Science e em diferentes bancos de patentes, tais como Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), Espacenet e United States Patent and Trademark Office (USPTO), como mostra a Figura 1. Para a pesquisa de artigos científicos utilizando o banco de dados *Web of Science* foram coletadas diferentes informações, tais como: DOI (*Digital Object Identifier*), título, autores, revista, data de submissão, data de publicação, ano, país do autor correspondente e número de citações do artigo. Na pesquisa de anterioridade de patentes os dados coletados foram: número do pedido, título, nome do depositante, data de depósito, data de publicação, ano, país do depositante, classificação IPC e co-produto do processo.

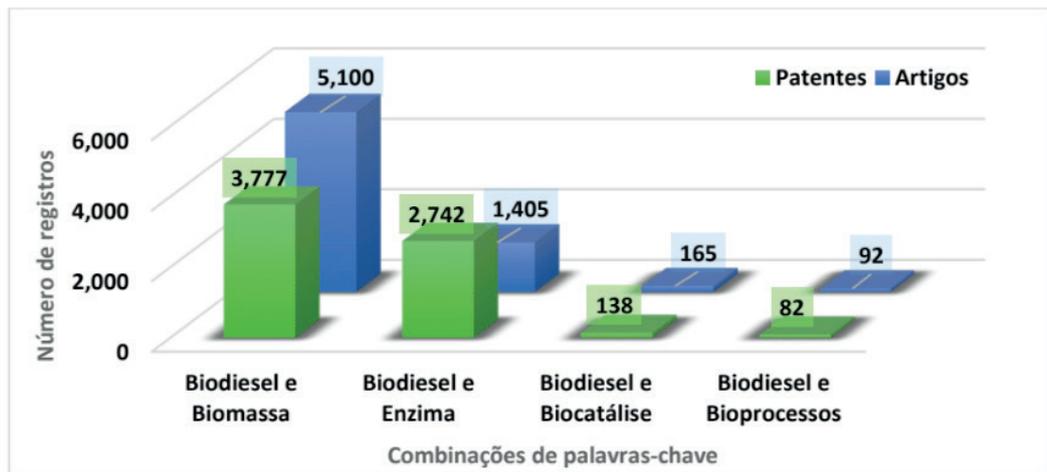


Figura 1: Número de artigos e patentes por diferentes combinações de palavras-chave entre os anos de 2008 e 2017.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Evolução anual de artigos e patentes

A evolução anual de artigos científicos entre os anos 2008 e 2017 exposta na Figura 2 indica uma tendência predominantemente exponencial, com maior número de publicações em 2016, o que indica que o uso de enzimas, micro-organismos, células animais ou vegetais em processos de produção de biodiesel é uma tecnologia emergente, mostrando ser uma área ainda competitiva em termos de pesquisa científica. Entretanto, analisando apenas a evolução de patentes é possível verificar que não houve uma tendência regularmente crescente ao número de registros ao passar dos anos, sendo mais expressivo em 2011, representando cerca de 25% do número total de patentes depositadas no período em questão.

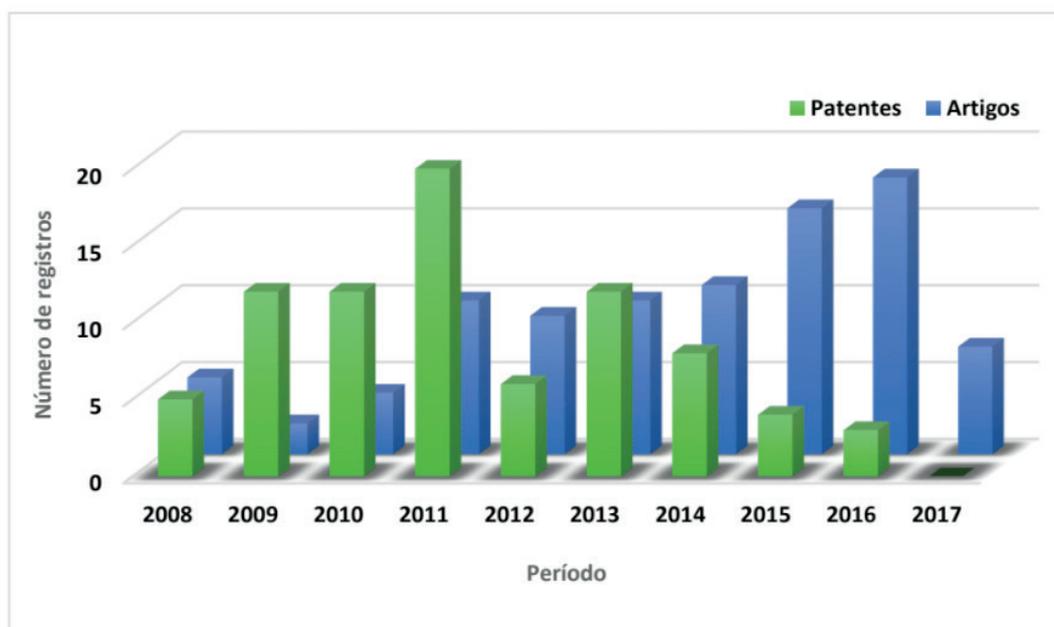


Figura 2: Evolução anual de patentes e artigos.

As evoluções anuais de registros de artigos e patentes estrangeiros e brasileiros são mostradas na Figura 3. Em relação ao perfil de artigos científicos publicados por ano (Figura 3A e C) nota-se que, de acordo com os dados coletados pela busca, o número de publicações estrangeiras tornou-se cada vez mais crescente, com cerca de 85% dos artigos sendo publicados nos últimos 5 anos. Os brasileiros publicaram mais da metade (57,14%) dos seus artigos científicos entre 2012–2013, tendo o primeiro artigo publicado em 2011, referente a otimização da produção de lipases utilizando os transportadores de oxigênio artificiais de polidimetilsiloxanos. As Figuras 3B e D mostram que o número de patentes estrangeiras teve seu ápice em 2011, com percentual de 26,32%, e após este período houve decréscimo significativo ao passar dos anos.

Notou-se uma tendência similar para o número de patentes brasileiras, com percentual 80% entre os anos de 2011 e 2012 e com apenas uma patente publicada nos últimos 4 anos, voltada para o processo integrado de extração de óleo e produção de biodiesel. Este fato corrobora com a teoria de que as agências de fomento brasileiras (CNPq, CAPES, entre outras) ainda incentivam e valorizam mais as publicações em periódicos científicos do que os depósitos de patentes, o que levar ao fomento da ciência e tecnologia industrial desenvolvida no Brasil sem preocupação com apropriação.

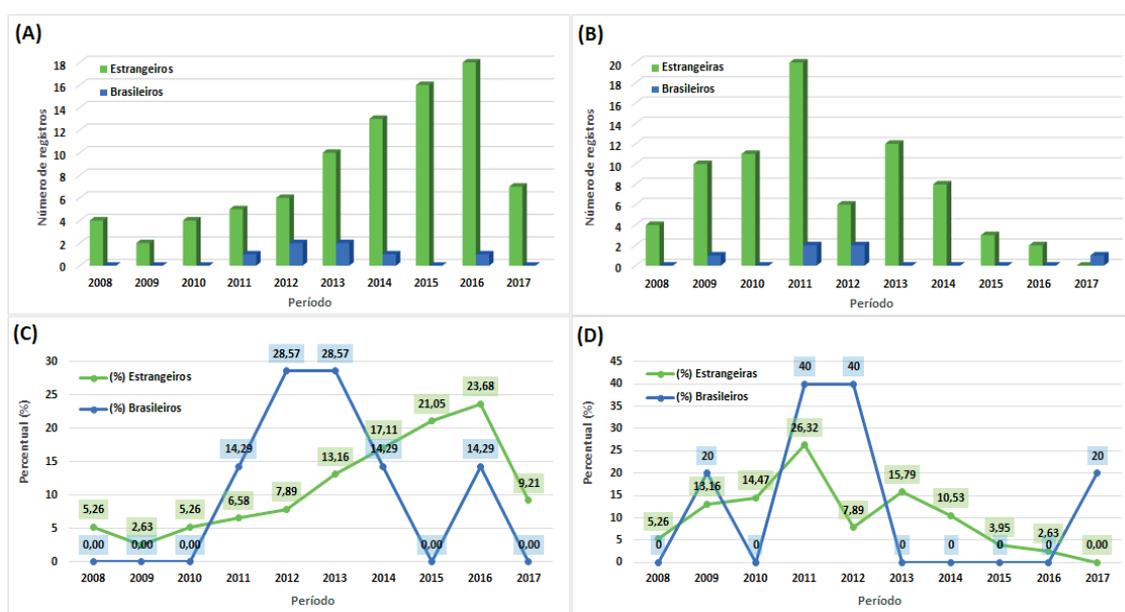


Figura 3: Evolução anual de: (A) número de artigos; (B) número de patentes; (C) percentual de artigos; (D) percentual de patentes.

Analisou-se o tempo em meses entre a data de depósito e a data de publicação de todas as patentes investigadas e os resultados indicaram que levam, em média, cerca de 12 meses para que a patente seja publicada. Calculou-se também o tempo médio para as seguintes bases de dados: Espacenet, USPTO e INPI, como mostra a Figura 4. As bases de patentes do Espacenet e USPTO gastam aproximadamente 10 meses para a validar uma patente.

O Instituto Nacional de Propriedade Industrial do Brasil leva cerca de 33 meses

para analisar, mais que o triplo do tempo que as bases de dados Espacenet e USPTO. Este fato pode ser justificado pelas abrangentes e complexas demandas de conhecimento técnico específico e envolvem as análises feitas no INPI. O baixo número de profissionais e concursos públicos do INPI agravam ainda mais esta situação.

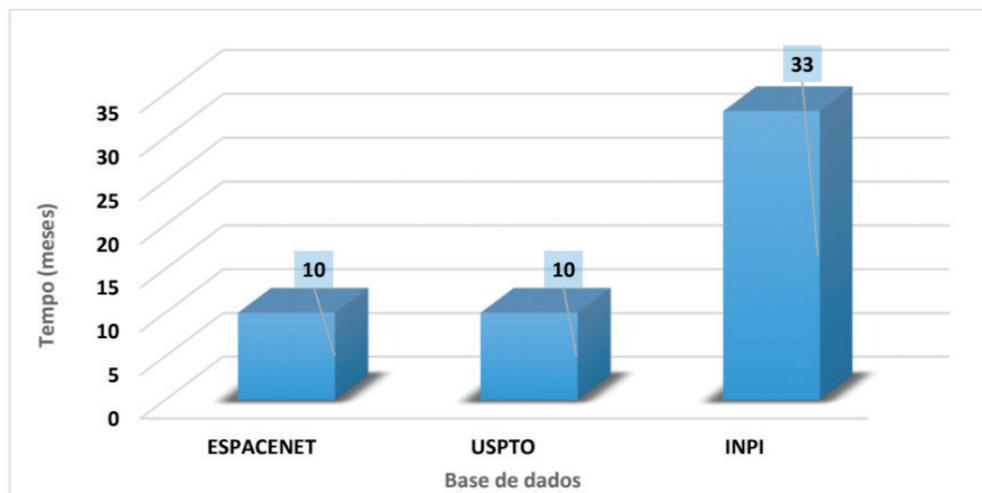


Figura 4: Tempo entre depósito e publicação de patentes em diferentes bases de dados.

3.2 Países detentores do conhecimento científico e do desenvolvimento tecnológico

A Figura 5 exibe os países que geram conhecimento científico e desenvolvimento tecnológico entre os anos de 2008 e 2017. No conjunto dos países que têm publicado artigos científicos destacam-se a Alemanha, Brasil, Canadá, China, Coréia do Sul, Estados Unidos, Japão e Reino Unido, com maior número de publicações para os Estados Unidos e a China, que representam cerca de 14 e 17% do total de artigos publicados, respectivamente. No período analisado, o Brasil ocupa o quinto lugar de países que mais publicam com 7 artigos, o que representa 7,6% do total de registros científicos. Dentre o grupo de países que patenteiam os seus processos de desenvolvimento tecnológico, estão a Alemanha, Brasil, China, Estados Unidos e Índia, com contribuição majoritária dos Estados Unidos, que representa 63% das patentes depositadas.

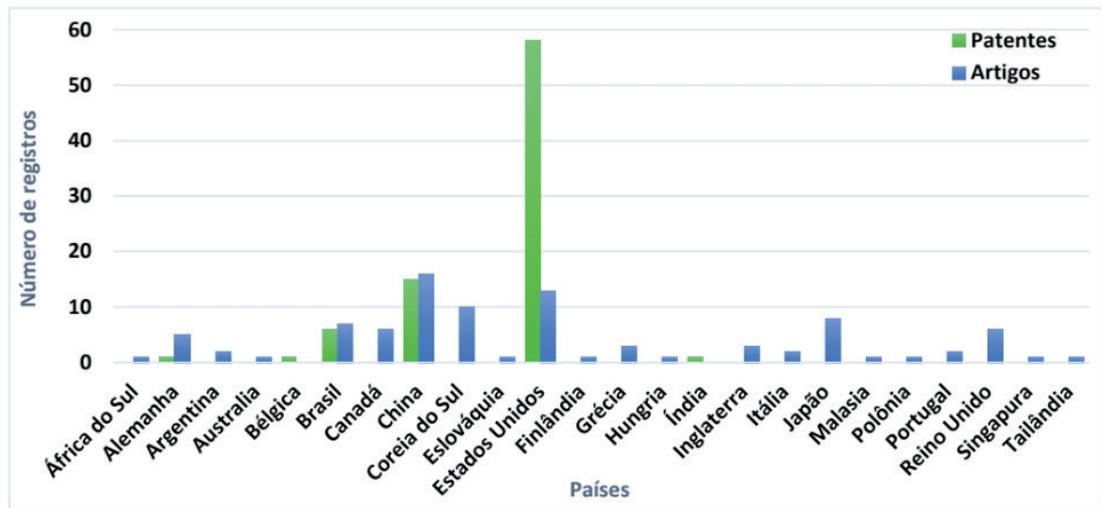


Figura 5: Países detentores do conhecimento científico e do desenvolvimento tecnológico.

A Figura 6 exibe o número de patentes por tipo de depositante, como empresas, instituições de ciência e tecnologia (ICT) e inventores independentes. Nota-se que para as patentes estrangeiras foram depositadas apenas por empresas (79%) e ICTs (21%), sendo que as empresas que mais patenteiam são dos Estados Unidos, a exemplo Genomatica, Inc., Butamax Advanced Biofuels LLC. e Invista North America Sarl. As instituições de ciência e tecnologia internacionais que mais se apropriam são a University of Georgia Research Foundation, Inc./North Carolina State University, Institute Of Chemical Technology e Qingdao Inst Bioenergia & Bioprocess Technology Cas. Dentre as patentes brasileiras, 50% foram depositadas por inventores independentes (Carlos Ernesto Covalski, José Domingos Fontana e Márcio Antônio Da Silveira), 33% por instituições de ciência e tecnologia (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais e Instituto de Tecnologia e Pesquisa) e 17% por empresas (Braskem S. A.).

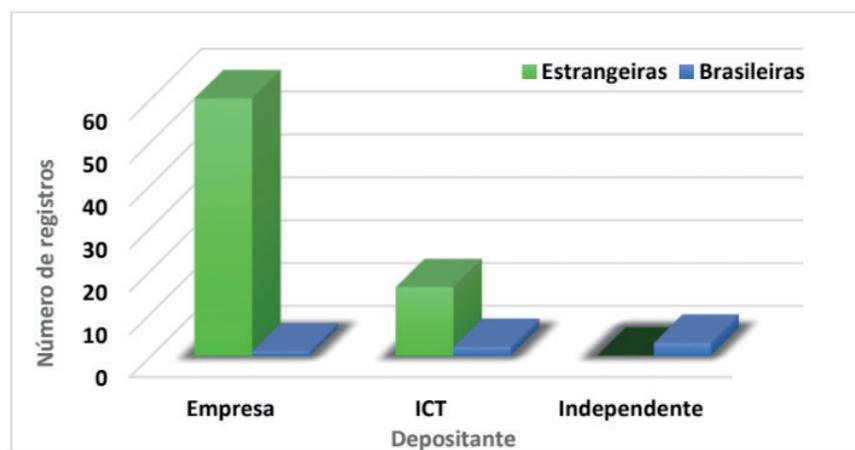


Figura 6: Patentes no Brasil e no mundo por tipo de depositante.

Ao ser depositada, cada patente recebe pelo menos dois códigos referentes a constituição e uso por seção, cujos significados podem ser facilmente obtidos em inglês

na *European Patent Office* (EPO) Espacenet ou em português no INPI. As seções agrupadas nesta pesquisa de prospecção estão descritas na Tabela 1 e os números de patentes são expostos na Figura 7.

Símbolos	Descrição
A01	Agricultura; silvicultura; criação animal; caça; pescaria
B01	Processos ou aparelhos físicos ou químicos em geral
C01	Química inorgânica
C07	Química orgânica
C08	Compostos macromoleculares orgânicos; sua preparação ou trabalho químico; composições a base
C10	Indústrias de petróleo ou gás; gases técnicos que contêm monóxido de carbono; combustíveis; lubrificantes
C11	Óleos animais e vegetais, gorduras, substâncias de gorduras e ceras; ácidos graxos; detergentes; velas
C12	Bioquímica; microbiologia; enzimologia; e engenharia genética

Tabela 1: Símbolos e descrição das classificações IPC de patentes por seções.

Dentre as patentes estrangeiras, cerca de 80% dos depósitos de patente são da seção C12. Em relação as patentes brasileiras, cerca de 37,5% estão agrupadas na seção B01, 31% na seção C07, 19% na seção C10, 7% na seção C01 e 6% na seção C08.

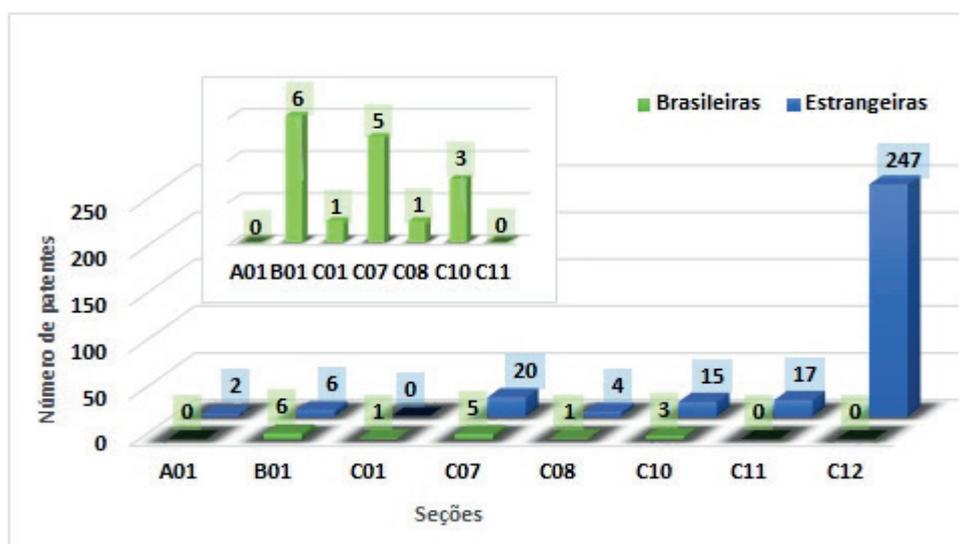


Figura 7: Número de patentes por seções.

No que diz respeito às subseções (Figura 8), as patentes estrangeiras estão predominantemente inseridas nas subseções C12P – Fermentação ou procedimentos de utilização de enzima para sintetizar um composto químico ou para separar uma mistura (43%) e C12M – Aparelhos para enzima ou microbiologia (30,5%). As patentes brasileiras, na sua grande maioria, estão agrupadas nas subseções B01J – Processos químicos ou físicos (37,5%) e C07C – Compostos acíclicos ou carboxílicos (31%). Ressalta-se que a mesma patente pode ser classificada em uma ou mais subclasse.

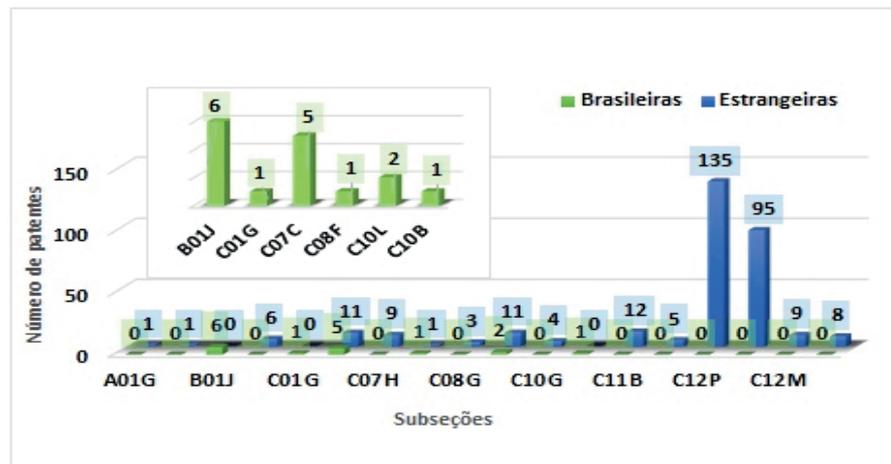


Figura 8: Número de patentes por subseções.

A Figura 9 mostra todos os grupos das patentes estrangeiras e brasileiras analisadas. Nos grupos das patentes estrangeiras, cerca de 30,6% dos depósitos são do grupo C12R1 – Processos usando micro-organismos e 19% do grupo C12N1 – Processos contendo um micro-organismo ou enzimas. Em relação as patentes brasileiras, cerca de 26,7% estão agrupadas no grupo C0767- Preparação de ésteres a partir de ácidos.

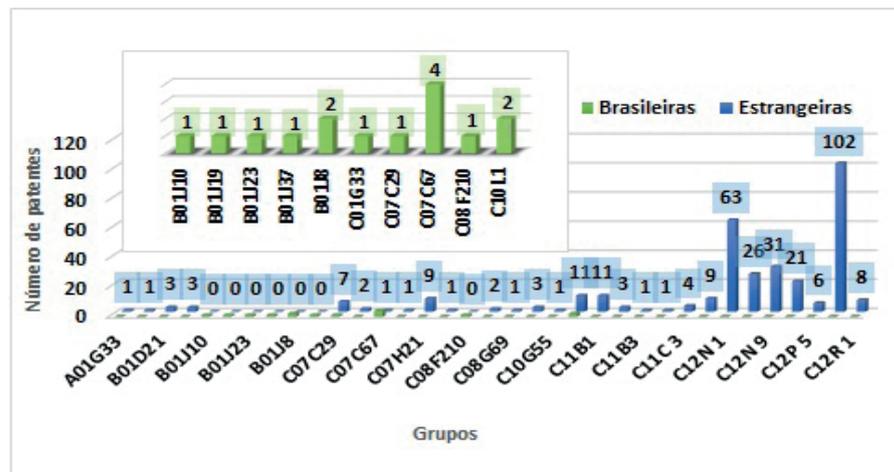


Figura 9: Número de patentes por grupos.

No que diz respeito aos subgrupos, as patentes estrangeiras estão inseridas nos mais variados envolvendo micro-organismos e enzimas para produção de biodiesel utilizando óleos vegetais e ácidos graxos. Os subgrupos mais utilizados pelo Brasil (Figura 10) são: B01J8/00 – Processos químicos ou físicos em geral, conduzidos na presença de fluidos e partículas sólidas (12,5%), C07C67/02 – Preparação de ésteres de ácidos carboxílicos por transesterificação (12,5%), e C10L1/02 – Combustíveis líquidos com base em componentes que consistem apenas em carbono, hidrogênio e oxigênio. Em suma, os processos brasileiros ao uso de gorduras, óleos, ou ácidos graxos como matérias-primas para produção de biodiesel por transesterificação e utilização como combustível.

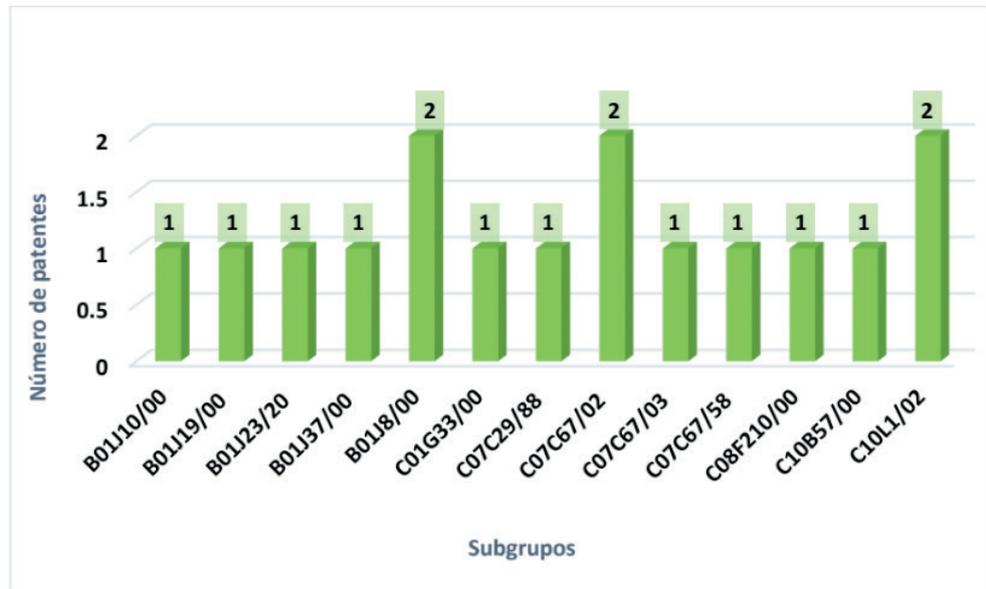


Figura 10: Número de patentes brasileiras por subgrupos.

3.3 Processos tecnológicos e seus co-produtos

A Figura 11 mostra os processos de produção de biodiesel mais utilizados. Os processos de geração de biodiesel têm maior número de patentes focando especialmente na transesterificação, tanto para estrangeiras quanto para brasileiras, representando cerca de 35,5% e 66,7% dos processos utilizados, respectivamente, já que favorece a produção do óleo com maior rendimento. Outros processos que também vem sendo utilizados a nível mundial são a extração de ácidos graxos e ésteres de interesse e a fermentação por micro-organismos.

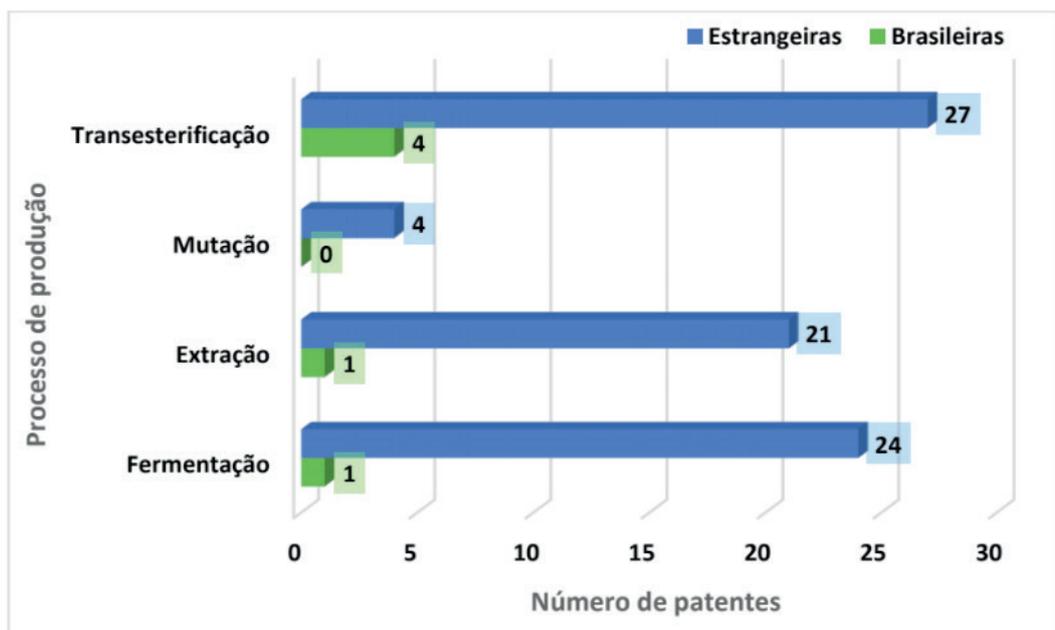


Figura 11: Processo de produção do biodiesel.

Após a obtenção do biodiesel, involuntariamente, são gerados materiais do processo de produção que necessitam ser reutilizados para reduzir os impactos

ambientais e para maximizar os resultados da energia aplicada, os chamados co-produtos. Estes podem ser reaproveitados para agregar valor e se constituir em outras fontes de renda importantes para os produtores agrícolas e industriais. A Figura 12 mostra que a glicerina é o co-produto mais gerado pelos processos tecnológicos estrangeiros e brasileiros. Em segundo lugar, a torta oriunda da extração de óleos vegetais utilizados na produção do biodiesel.

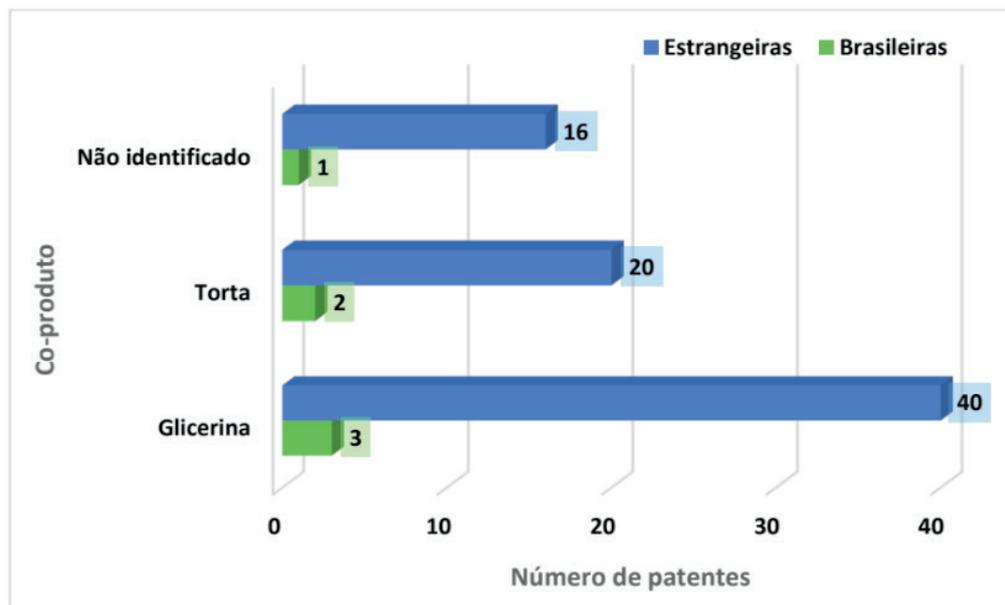


Figura 12: Co-produtos oriundos da produção do biodiesel.

3.4 Qualificações das revistas indexadas com mais artigos científicos

Os artigos científicos coletados foram publicados em 54 diferentes revistas, entretanto, apenas 13 revistas apresentaram duas ou mais publicações. A Figura 13 mostra as revistas indexadas com mais artigos e os Qualis Periódicos Capes para a área Engenharias II. *Bioresource Technology*, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *Biochemical Engineering Journal* e *Biotechnology for Biofuels* foram as revistas que publicaram mais artigos voltados para a obtenção de biodiesel por meio de processos biotecnológicos. A nível nacional, o Qualis é um importante critério de avaliação individual para a manutenção e distribuição de recursos voltados para a educação, como financiamento de projetos e bolsas para a progressão da ciência e carreira de pesquisadores. O levantamento feito a partir da plataforma Sucupira indicou que praticamente todas as revistas analisadas apresentam Qualis de classificação A1 para a área Engenharias II, com exceção das revistas *Trends In Biotechnology* e *Journal of Oil Palm Research*, que possuem Qualis de classificação apenas para a área de Biotecnologia.

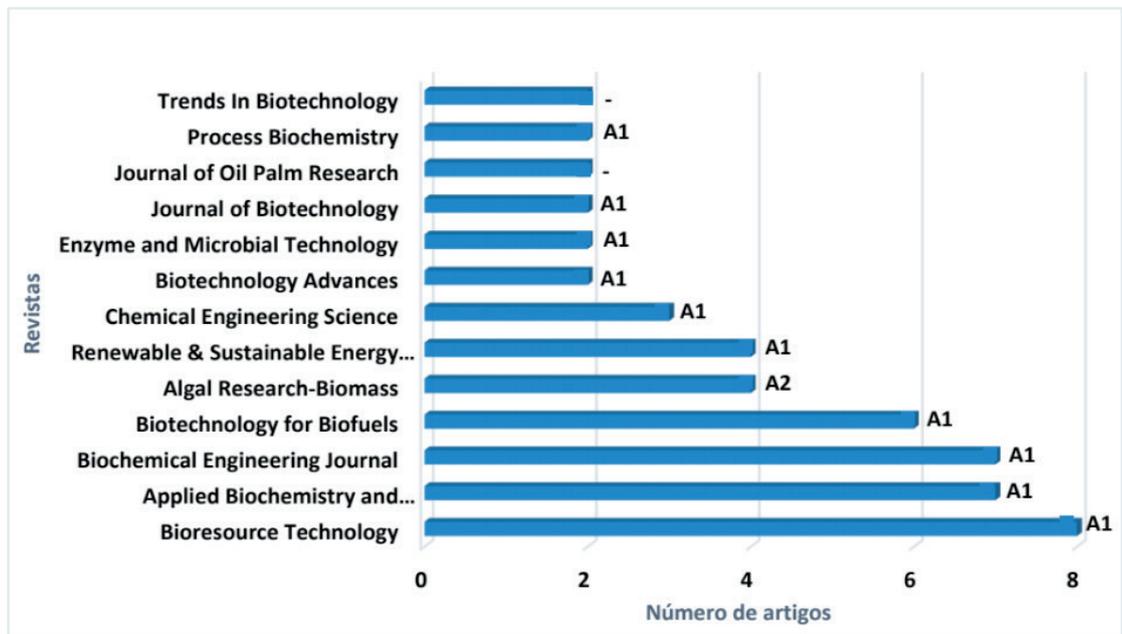


Figura 13: Revistas indexadas com mais artigos e Qualis Periódicos Capes para a área de avaliação em Engenharias II.

Outro importante parâmetro de aferição da qualidade dos periódicos científicos é o Fator de Impacto, que representa uma medida estabelecida para determinar o número médio de citações de artigos científicos publicados em um determinado periódico. Sendo assim, os periódicos com fator de impacto alto são considerados mais importantes do que aqueles com fator de impacto baixo. Neste contexto, a Figura 14 exibe as revistas indexadas com mais artigos que apresentam maiores fatores de impacto são: *Trends In Biotechnology* (11,126), *Biotechnology Advances* (10,597), *Renewable & Sustainable Energy Reviews* (8,050), *Bioresource Technology* (5,651) e *Biotechnology for Biofuels* (5,203).

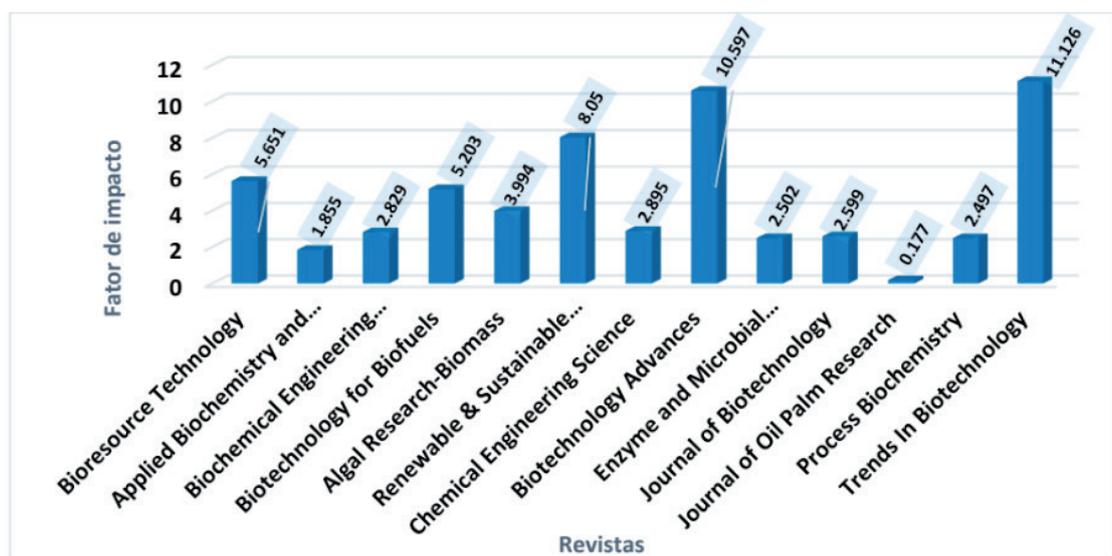


Figura 14: Fator de impacto das revistas indexadas com mais artigos científicos.

A publicação de artigo científico em periódico é a principal forma de divulgação

dos resultados de uma pesquisa. Entretanto, para que o processo de avaliação e aprovação por parte dos avaliadores e editores seja bem feito, exige bastante tempo. O tempo médio entre a data de submissão e a data de publicação de um artigo é um dos fatores que influenciam na escolha dos autores para a escolha da revista, uma vez que para o progresso da ciência é imprescindível a acelerada difusão dos dados e conhecimentos inovadores resultantes da pesquisa. Assim, verificou-se que o tempo médio para publicação entre todas as 54 revistas analisadas é de 7 meses.

A Figura 15 mostra que, dentre as 13 revistas indexadas com mais artigos científicos, o tempo médio também é de 7 meses, sendo que Process Biochemistry, Trends in Biotechnology, Journal of Biotechnology, Biochemical Engineering Journal e Enzyme and Microbial Technology **são as revistas** que levam menos tempo para publicar artigos científicos.

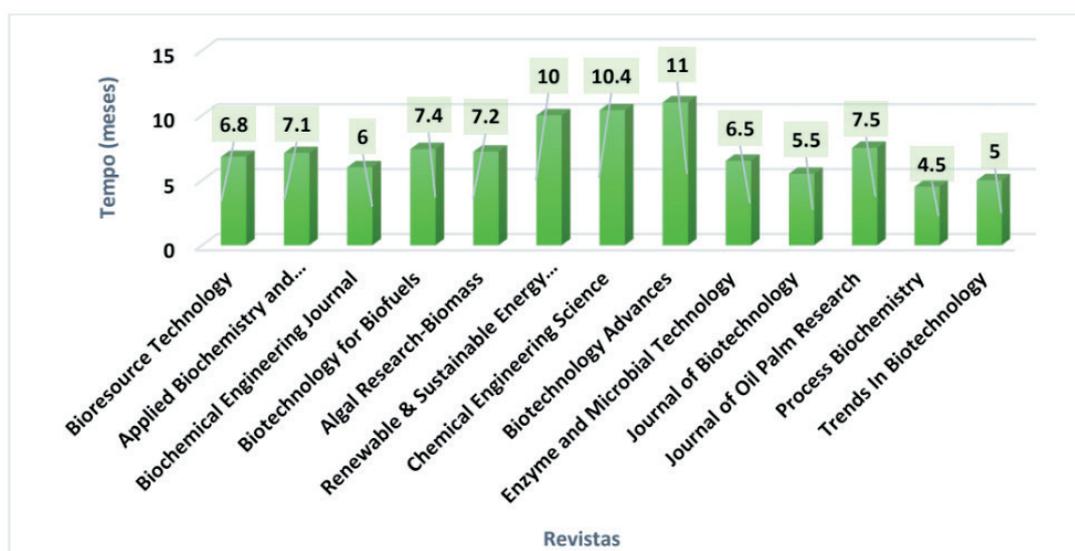


Figura 15: Tempo em meses entre submissão e publicação nas revistas indexadas com mais artigos científicos.

A partir da pesquisa de anterioridade dos artigos científicos referentes a utilização de bioprocessos na produção de biodiesel entre os anos de 2008 e 2017 também se analisou os cinco artigos com maiores números de citações (Figura 16), já que este é um dos fatores mais importantes para estimar a relevância de uma publicação científica a nível mundial e implica diretamente na importância do pesquisador no desenvolvimento da ciência e tecnologia.

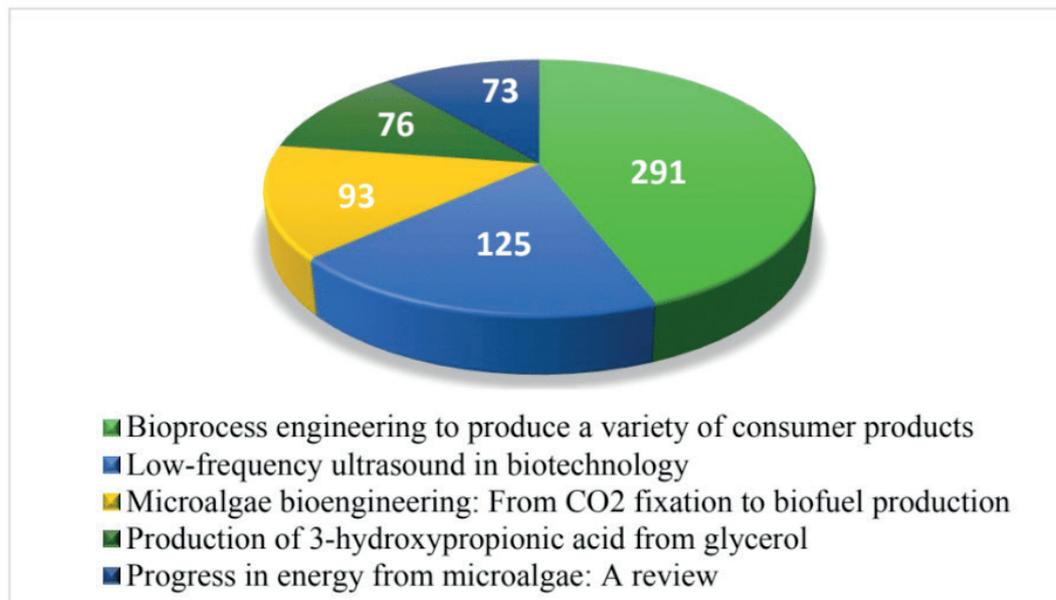


Figura 16: Artigos científicos com maiores números de citações.

O artigo intitulado “*Bioprocess engineering to produce a variety of consumer products*” publicado na revista *Renewable & Sustainable Energy Reviews* em 2009 foi o mais citado, com 291 citações. Neste artigo de revisão, os autores Razif Harun, Manjinder Singh, Gareth M. Forde e Michael K. Danquah discutem as plataformas de tecnologia e desenvolvimento de diferentes produtos de consumo de alto valor agregado a partir de biomassas. Outro artigo de revisão foi citado 125 vezes, os autores Rokhina E. V., Lens P. e Virkutyte J., discutem o uso de ultrassom de baixa frequência para o aprimoramento de vários processos biotecnológicos. Ademais, os artigos “*Microalgae bioengineering: From CO₂ fixation to biofuel production*”, “*Production of 3-hydroxypropionic acid from glycerol*” e “*Progress in energy from microalgae: A review*” foram citados 93, 76 e 73 vezes, respectivamente.

4 | CONCLUSÃO

O estudo da evolução anual de artigos e patentes contribuiu no desenvolvimento científico e tecnológico para a obtenção de manufatura de biodiesel. Nesse contexto, a busca em banco de dados de artigos e patentes, sejam eles nacionais ou internacionais, conduziu o mapeamento quantitativo/qualitativo no âmbito de bioprocessos. A partir de então, foi possível identificar os principais co-produtos oriundos da produção do biodiesel, bem como os países com maiores números de depositantes do conhecimento científico e do desenvolvimento tecnológico. O Estados Unidos foi o país que apresentou maior relevância quanto ao número de patentes para os processos de desenvolvimento tecnológico, enquanto que a China alcançou maior número de artigos publicados. Assim, o presente artigo apresentou a bioprospecção como uma importante ferramenta para o desenvolvimento de pesquisas e de projetos

científico, que visam contribuir de forma significativa à ampliação de estudos voltados para a inovação tecnológica.

REFERÊNCIAS

AMINI, Z., ILHAM, Z., ONG, H. C., MAZAHERI, H., & CHEN, W. H. **State of the art and prospective of lipase-catalyzed transesterification reaction for biodiesel production.** *Energy conversion and management*, v. 141, p. 339-353, 2017.

CANONGIA C.; ANTUNES A. **Gestão da informação e monitoramento tecnológico: o mercado dos futuros genéricos.** *Perspectivas em ciência da informação*, 7, 2, 2002.

DU, WEI; WANG, LI; LIU, Dehua. **Improved methanol tolerance during Novozym435-mediated methanolysis of SODD for biodiesel production.** *Green Chemistry*, 9, 173-176, 2007.

FAGUNDES, M. C.; GARCIA, P. A. de A.; MOTTA, G. DA S. MELO, DANIEL, R A. de. **Perfil tecnológico da CSN: um estudo patentométrico. RAI: Revista de Administração e Inovação**, 11, 276-294, 2014.

FERREIRA, A. A.; GUIMARÃES, E. R.; CONTADOR, J. C. **Patente como instrumento competitivo e fonte de informação tecnológica.** *Revista Gestão & Produção*. São Carlos: 16, 209-221, 2009.

FUKUDA, H.; KONDO, A.; NODA, H. **Biodiesel fuel production by transesterification of oils.** *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92, 405-416, 2001.

GOG, A.; ROMAN, M.; TOS, M.; PAIZS, C.; IRIMIE, F. D. **Biodiesel production using enzymatic transesterification e Current state and perspectives.** *Renewable Energy*, 39, 10-16, 2012.

LEE, A. F., BENNETT, J. A., MANAYIL, J. C., & WILSON, K. **Heterogeneous catalysis for sustainable biodiesel production via esterification and transesterification.** *Chemical Society Reviews*, v. 43, n. 22, p. 7887-7916, 2014.

LI, S., YANG, X., YANG, S., ZHU, M., & WANG, X. **Technology prospecting on enzymes: application, marketing and engineering.** *Computational and Structural Biotechnology Journal*, v. 2, n. 3, p. e201209017, 2012.

PANDEY, Ashok (Ed.). **Biofuels: alternative feedstocks and conversion processes.** *Academic Press*, 2011.

PARK, J. Y., PARK, M. S., LEE, Y. C., & YANG, J. W. **Advances in direct transesterification of algal oils from wet biomass.** *Bioresource technology*, v. 184, p. 267-275, 2015.

QUINTELLA, C.M.; TEIXEIRA, L.S.G.; KORN, M.G.A.; NETO, P.R.C.; TORRES, E.A.; CASTRO, M.P.; JESUS, C.A.C. **Cadeia do biodiesel da bancada à indústria: uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P&D&I.** *Quim. Nova*, XY, 1-16, 2009.

REEVES, C. J.; SIDDAIAH, A.; MENEZES, P. L. **A review on the science and technology of natural and synthetic biolubricants.** *Journal of Bio- and Tribo-Corrosion*, v. 3, p. 11, 2017.

SANTOS, L. K.; HATANAKA, R. R.; OLIVEIRA, J. E. DE; FLUMIGNAN, D. L. **Experimental factorial design on hydroesterification of waste cooking oil by subcritical conditions for biodiesel production.** *Renewable Energy*, v. 114, p. 574–580, 2017.

YANG, Fangxia; HANNA, Milford A.; SUN, Runcang. **Value-added uses for crude glycerol--a byproduct of biodiesel production.** *Biotechnology for biofuels*, v. 5, n. 1, p. 13, 2012.

USO DO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) PARA HIERARQUIZAÇÃO DE MÉTODOS DE MENSURAÇÃO DO GRAU DE APLICAÇÃO DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

Arthur Felipe Echs Lucena

Universidade Estadual de Londrina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Londrina – PR

Luci Mercedes De Mori

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil
Maringá – PR

RESUMO: A construção civil é um segmento que contribui substancialmente para o desenvolvimento da sociedade. Assim, é imprescindível disseminar novos instrumentos que auxiliem no desenvolvimento do setor. Nesse sentido, destaca-se a filosofia de gestão conhecida como *Lean Construction*, assim como os respectivos métodos criados para mensurar sua presença nas empresas construtoras. Com o objetivo de hierarquizar esses métodos em relação a sua eficiência em mensurar a presença da filosofia *Lean* nos canteiros de obras, o presente estudo utilizou o processo de tomada de decisão multicritério conhecido como *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Dessa forma, inicialmente, elegeram-se e se ponderaram diversos critérios auxiliares à análise a ser realizada. Em seguida, pontuou-se o desempenho de cada método em relação a cada critério. Com base na avaliação realizada, obteve-se o desempenho final de

cada método, o que possibilitou hierarquizá-los. Positivamente, o destaque se deu aos métodos de Pereira (2012) e Carvalho (2008), devido à grande relevância de seus resultados. Contudo, concluiu-se que não existe, todavia, um método que seja considerado inequívoco em realizar a mensuração pretendida, de modo que todos necessitam da presença de um pesquisador especializado no assunto para julgar a coerência dos resultados obtidos e sua utilidade para a empresa.

PALAVRAS-CHAVE: Construção civil. Gestão de obras. Canteiro de obras.

ABSTRACT: Civil construction is a segment that substantially contributes to society development. Thus, disseminating new instruments that can help in this development is essential. In this context, the management philosophy known as *Lean Construction* stands out, as well as the methods created to measure its presence in the construction companies. In order to rank these methods in relation to their efficiency in measuring the presence of the *Lean* philosophy in construction sites, the present study used the multicriteria decision-making process known as *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Initially, several criteria were elected and weighted to aid the intended analysis. Then, the performance of each method was scored for each criteria. Based on this evaluation, the final performance

of each method was obtained, so it was possible to rank them. Positively, the highlight was the methods of Pereira (2012) and Carvalho (2008), due to the great relevance of their results. However, it was concluded that there is not a method that is considered unequivocal in performing the intended measurement, so all of them require the presence of a specialized researcher to judge the consistency of the results and their usefulness to the company.

KEYWORDS: Civil construction. Construction management. Construction sites.

1 | INTRODUÇÃO

A construção civil é um segmento que contribui substancialmente para o desenvolvimento da sociedade. No caso do Brasil, as 128 mil empresas ativas do setor empregam mais de 6800 milhares de trabalhadores e movimentam anualmente cerca de 400 bilhões de reais devido às suas atividades (IBGE, 2015; CBIC, 2017). Nesse cenário, observa-se o grande impacto que melhorias desenvolvidas nos processos produtivos podem causar. Em consequência disso, geram-se grandes discussões a respeito de como otimizar a produção na construção civil, principalmente por meio da mitigação dos diversos desperdícios constatados diariamente nos canteiros de obras.

Com vistas a reduzir a incidência de tais problemáticas, de modo a “construir com a metade dos recursos, na metade do tempo, sem desperdícios e com o dobro da satisfação dos clientes, operários e empresários” (HEINECK et al., 2009, p.10), ganha destaque a filosofia de gestão denominada *Lean Construction* ou Construção Enxuta. Entretanto, apesar de seu grande potencial para aperfeiçoamento dos processos produtivos na construção civil, a filosofia *Lean* enfrenta muitos desafios que impedem sua implementação (JUSTA, 2014). Sobre o tema, Machado e Heineck (2015) destacam que ainda existe muito ceticismo quanto a eficiência da filosofia em melhorar a percepção do cliente em relação ao produto final da obra.

Para combater tal ceticismo, surgiram, na última década, diversos métodos para mensurar o grau de aplicação da Construção Enxuta em empresas construtoras. Dessa forma, tem-se condições de estabelecer comparações entre o desempenho alcançado por diversas empresas construtoras (CARVALHO, 2008), e assim observar as reais contribuições da aplicação da filosofia aos processos produtivos do setor. Todavia, não há um método de mensuração da filosofia *Lean* que seja considerado unanimidade no meio científico. Nesse contexto, observa-se a relevância do presente estudo, visto que busca hierarquizar os principais métodos de mensuração disponíveis na literatura em relação às suas eficiências. Deste modo, contribui-se para que as futuras mensurações do grau de aplicação da Construção Enxuta em empresas construtoras sejam realizadas com o auxílio das ferramentas adequadas, gerando resultados mais assertivos e representativos da realidade da empresa.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

A filosofia *Lean Construction* deriva de uma corrente teórica surgida nos anos 1950 conhecida como Sistema Toyota de Produção, devido a sua ampla aplicação na empresa homônima (KOSKELA, 1992). Na construção civil, ganhou notoriedade em 1992, a partir da publicação de Koskela (1992) que propôs onze princípios a serem seguidos pelas empresas construtoras a fim de implantarem a Construção Enxuta em suas obras. Baseados nesses e em outros princípios similares, diversos autores propuseram ferramentas de mensuração do grau de aplicação da Construção Enxuta nas empresas construtoras. Nesse contexto, destacam-se os métodos de Hofacker et al. (2008), Carvalho (2008), Pereira (2012), Kurek et al. (2013), Tonin e Schaefer (2013) e Souza e Cabette (2014).

Para tomar decisões que envolvem múltiplos critérios de análise (como, por exemplo, definir qual é o método de mensuração do grau de aplicação da Construção Enxuta mais eficiente) uma interessante alternativa é utilizar o *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Trata-se de um processo lógico de análise de alternativas desenvolvido por Thomas L. Saaty em 1970, quando a abordagem a problemas complexos por meio da perspectiva multicritério estava se iniciando no meio científico (PASSOS, 2010).

2.1 A Filosofia *Lean Construction* e Seus Métodos de Mensuração

A filosofia *Lean Construction* emergiu no meio científico como uma alternativa ao modelo de gestão da produção tradicionalmente utilizado pelas empresas. Esse modelo tradicional entende um processo produtivo como um conjunto de ações necessárias para transformar uma matéria-prima em um produto de interesse. Entretanto, na perspectiva da filosofia *Lean*, essa análise é equivocada, pois ignora o fato de que, além das atividades de conversão (transformações, propriamente ditas), a matéria-prima também passa por diversas atividades de fluxo, como transporte, inspeção e espera ao longo do processo produtivo (KOSKELA, 1992).

Essa mudança de percepção traz grandes resultados à análise e consequente otimização da produção. Ao negligenciar a existência dos fluxos, o modelo tradicional de produção tende a melhorar somente a eficiência das conversões, ignorando completamente os impactos (muitas vezes negativos) que tais alterações causam nas atividades de fluxo. Consequentemente, gera-se muita ociosidade, além de dificuldade na visualização global do processo e na percepção do impacto que cada atividade gera na outra. Desse modo, ao reconhecer a existência das atividades de fluxo, também se percebe que elas devem ser reduzidas a fim de que o processo produtivo se torne mais eficiente. Ademais, uma vez que ambas as atividades possuem custo e tempo para serem realizadas, mas apenas as atividades de conversão agregam valor ao produto final, conclui-se que são as atividades de fluxo que devem ser primordialmente eliminadas ou reduzidas para a melhoria global do processo (KOSKELA, 1992; OLIVEIRA et al., 2010).

Contudo, há grande ceticismo a respeito dos reais resultados da implantação da filosofia *Lean*, além de grande dificuldade por parte das empresas construtoras em introduzi-la em seus canteiros de obra. Por conta disso, desenvolveram-se, nos últimos anos, diversas ferramentas de mensuração do grau de aplicação da Construção Enxuta. A primeira ferramenta a ganhar notoriedade no meio científico foi o *Rapid Lean Construction-quality Rating Model* (LCR), desenvolvida em 2008. O LCR deve ser aplicado por dois pesquisadores com amplo conhecimento sobre a filosofia *Lean Construction*. Após a coleta de informações sobre a empresa por meio de uma visita *in loco* ao canteiro de obras e diálogo com os gestores da corporação, os pesquisadores devem responder a uma ficha avaliativa composta por trinta questões, distribuídas entre seis categorias: foco no cliente; desperdícios; qualidade; fluxo de materiais e produção puxada; organização, planejamento e fluxo de informações; e melhorias contínuas. Em cada questão, avalia-se o desempenho da empresa por meio da atribuição de uma nota que varia entre 0 e 6, sendo que 6 representa o melhor desempenho possível (HOFACKER et al., 2008).

Após o preenchimento da ficha avaliativa, calculam-se os percentuais de desempenho da empresa em cada categoria, dados pela relação entre o total de pontos alcançados pela corporação e o total de pontos possíveis de serem atingidos. Em seguida, esses resultados são apresentados na forma gráfica (HOFACKER et al., 2008). Esses autores utilizam o gráfico de colunas para essa análise; já Oliveira et al. (2010) apresentam o gráfico na forma ‘radar’, em que cada vértice do polígono gerado no gráfico corresponde a uma das seis categorias propostas pelos autores.

Os resultados também são analisados de forma conjunta por meio de um índice percentual que relaciona todos os tópicos avaliados na pesquisa. Para tanto, calcula-se a relação entre o total de pontos atribuído pelos avaliadores e o total possível de pontos em todas as categorias. Esse índice é comparado a uma escala desenvolvida pelos autores que fornece, qualitativamente, o desempenho alcançado na avaliação (HOFACKER et al., 2008).

Carvalho (2008) sugeriu um procedimento bastante distinto para realizar a mensuração do grau de aplicação da Construção Enxuta nos canteiros de obra. Em seu método, o autor propõe que sejam entrevistadas pessoas responsáveis por diferentes setores associados à empresa, a saber: diretoria, engenharia, operários, fornecedores, projetistas e clientes. Deste modo, de acordo com o autor, tem-se condições de retratar o fluxo de trabalho da empresa observado sob várias perspectivas diferentes.

A entrevista consiste no preenchimento de um formulário de 204 questões divididas em seis partes (cada parte referente a um setor entrevistado), sendo que em cada questão o entrevistado deve classificar o desempenho da empresa em uma escala que varia de 0 a 3, em que 0 representa ausência ou grande inconsistência na implementação daquela prática na empresa. Tal qual no método LCR, o entrevistador deve possuir amplo conhecimento sobre a filosofia *Lean*, de modo que possa solucionar possíveis dúvidas que possam surgir em relação ao que é questionado (CARVALHO,

2008).

Com base nas respostas fornecidas pelos entrevistados, calculam-se as médias aritméticas das notas dadas pelos entrevistados, sendo tais médias determinadas por categoria e por setor de entrevistados. Posteriormente, calcula-se uma média aritmética global, tendo-se em conta as respostas de todos os entrevistados em todas as categorias avaliadas. Considerando-se o máximo valor que cada média pode atingir, as médias anteriores são convertidas em percentuais de desempenho. Com base nestes, a empresa pode observar em qual perfil ela se enquadra, conforme classificação sugerida pelo autor (CARVALHO, 2008). Os resultados também podem ser exibidos de maneira gráfica, sendo que o autor sugere a utilização de gráficos do tipo 'radar'.

Em seu método, Pereira (2012) propôs uma nova maneira de responder à ficha avaliativa. Diferentemente de seus antecessores, que utilizavam escalas de pontuação, a autora adotou o uso de 40 questões de múltipla escolha. Deste modo, as alternativas de cada questão, pré-definidas, representam pesos em uma escala que varia de 1 a 3. Para cada resposta, identifica-se o percentual de pessoas que a selecionou, e se multiplica pelo peso que foi determinado. Uma média aritmética é calculada entre esses valores, obtendo, como resultado, o desempenho da empresa naquela pergunta. Após a análise individual das respostas das perguntas, uma nova média aritmética é calculada com base nos resultados finais das questões relacionadas a cada princípio, obtendo-se o desempenho da empresa em cada princípio. Finalmente, faz-se uma nova média aritmética entre a pontuação atribuída a cada princípio, obtendo-se, assim, um índice único que simboliza o grau de aplicação da filosofia *Lean* na empresa (PEREIRA, 2012).

Kurek et al. (2013) e Tonin e Schaefer (2013) adotaram outro modo de preenchimento das fichas avaliativas de seus respectivos métodos. Em cada questão, deve ser assinalada uma das seguintes opções: 'sim', 'não' ou 'não se aplica'. O resultado é então calculado pela relação entre o número de respostas positivas fornecidas e o número de respostas positivas possíveis. Adicionalmente, em sua ferramenta, Tonin e Schaefer (2013) permitem a comparação de tal resultado com uma escala de valoração desenvolvida pelos próprios autores, de modo que se obtém uma avaliação qualitativa do desempenho da empresa.

Por fim, um dos métodos mais recentes foi desenvolvido por Souza e Cabette (2014). Os autores utilizaram um questionário com 27 questões, corroborado por informações obtidas em diálogos e entrevistas informais, além de visitas técnicas ao canteiro de obras. As questões são dissertativas, e devem ser respondidas após o início do processo de introdução da filosofia *Lean* na empresa, com vistas a verificar as consequências da implementação da filosofia e os ganhos alcançados pela empresa (SOUZA; CABETTE, 2014).

2.2 O Analytic Hierarchy Process

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um método de avaliação hierárquica de atributos que tem sido aplicado em diversas áreas, em virtude de seu benefício de possibilitar que análises qualitativas, com alto grau de subjetividade, sejam discriminadas através de características numéricas (BEN, 2006). Sinteticamente, o AHP aborda um problema decisório complexo de modo que este é subdividido em problemas menores, que são abordados individualmente para depois serem agregados e constituírem a solução final do problema maior (PASSOS, 2010). Nesse sentido, pode-se estabelecer uma estrutura hierárquica de complexidade entre os elementos que compõem a problemática em questão, denominada *Árvore de Critérios*, conforme exposto na Figura 1.

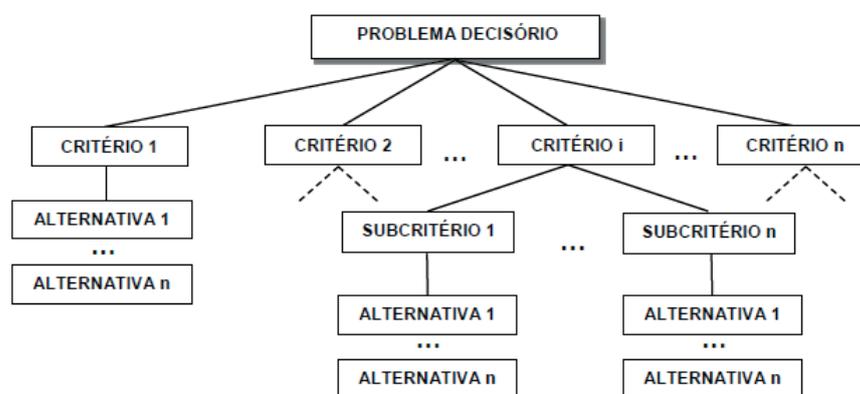


Figura 1 – Árvore de Critérios do AHP

Fonte: Passos (2010, p. 40)

A respeito de cada componente da Figura 1, Wolff (2008) expõe:

- problema decisório: refere-se à decisão que se pretende tomar. Devido ao seu alto grau de complexidade, é representado no nível mais geral da decisão;
- critérios: são fatores que exercem influência no problema decisório com diferentes níveis de relevância. São definidos pelos tomadores de decisão;
- alternativas: são as ações possíveis de serem adotadas para solucionar o problema decisório. Ao final da aplicação do AHP, o resultado será a hierarquização dessas alternativas, tendo em vista a obtenção da solução do problema decisório.

Para aplicar a ferramenta AHP em uma problemática, após definir a estrutura hierárquica que compõe a situação, a primeira etapa a ser realizada é determinar quem serão os tomadores de decisão (ou decisores) (PASSOS, 2010). De acordo com Peinado et al. (2016), o número de decisores selecionados, bem como suas qualificações, devem ser determinados de modo a garantir que os resultados tenham maior credibilidade, variando, assim, de acordo com o objeto de pesquisa.

O passo seguinte é a atribuição de valores relativos para os critérios, de

modo a definir o quanto um critério é mais importante que outro dentro de toda a abordagem (PASSOS, 2010). Para isso, segundo Wolff (2008), os decisores usam suas experiências na área e sua intuição para realizar comparações paritárias entre os 'n' elementos pertencentes ao nível 'critérios' da estrutura hierárquica, tomando como referência o elemento do nível imediatamente acima, isto é, o problema decisório. Deste modo, constrói-se uma Matriz de Julgamento, conforme exposto na Tabela 1.

Critérios	Crit. 1	...	Crit. p	...	Crit. m
Crit. 1	1	...	a_{1p}		a_{1m}
...
Crit. p	a_{p1}	...	1		a_{pm}
...
Crit. m	a_{m1}	...	a_{mp}		1

Tabela 1 – Matriz de Julgamento do método AHP

Fonte: Passos (2010, p. 42)

Para realizar as comparações paritárias entre os elementos, utiliza-se a Escala Fundamental de Saaty, que possui valores que variam de 1 até 9 (PASSOS, 2010), conforme apresentado no Quadro 1.

Escala Numérica	Escala Verbal
1	Mesma importância
3	Importância moderada de um sobre o outro
4	Importância essencial ou forte
7	Importância muito forte
9	Importância extrema
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

Quadro 1 – Escala Fundamental de Saaty

Fonte: Passos (2010, p. 43)

Contudo, Peinado et al. (2016) alertam que, ao realizar as comparações paritárias com essa escala, deve se ter em conta o princípio de reciprocidade. A título de exemplo, pode-se inferir que “se o Critério 1 é considerado três vezes mais importante que o Critério 4 (utilizando o nível de intensidade ‘3’), o Critério 4 deverá ser três vezes menos importante que o Critério 1 (adotado, portanto, o nível de intensidade ‘1/3’)” (PEINADO et al., 2016, p. 12).

Após o preenchimento da Matriz de Julgamento, o passo seguinte é a obtenção do vetor de pesos associado a essa matriz, que indicará a importância relativa de cada critério quando comparado aos outros. *A priori*, de acordo com a norma ASTM E1765:2011 que regulamenta a aplicação do método AHP, a dedução desse vetor de pesos é um problema que envolve os autovalores e autovetores das matrizes analisadas,

sendo, portanto, a sua obtenção de grande dificuldade e complexidade matemática. No entanto, existem alguns métodos para obter aproximações com precisão satisfatória para esses valores. Uma das possibilidades de cálculo é iniciar pela determinação da média de cada linha da matriz (PASSOS, 2010). Há, contudo, discussões no meio científico sobre qual tipo de média utilizar nesse processo: Passos (2010) e Peinado et al. (2016) utilizam a média aritmética nesse cálculo; já Triantaphyllou e Mann (1995) optam por utilizar a média geométrica.

Em seguida, toma-se o vetor resultante do passo anterior e se faz a sua normalização, dividindo-se o valor de cada componente pela soma de todos os elementos do vetor. Obtém-se, assim, o vetor final de pesos, em que cada elemento é o valor do peso de um dos critérios analisados (PASSOS, 2010).

É necessário, no entanto, verificar a existência de inconsistências devido a erros no julgamento de valor por parte dos decisores. De acordo com Passos (2010, p. 47), podem ocorrer dois tipos de inconsistências:

Dados três critérios A, B, C, para que não haja inconsistência, deve ocorrer que se A é preferível a B e B é preferível a C, então A deve ser preferível a C. Outro problema que ocorre está relacionado com a intensidade com a qual um critério é preferível em relação a outro. Geralmente, ocorre que $a_{pq} \neq a_{pv} \cdot a_{vq}$, onde 'a_{ij}' são elementos da matriz de comparações paritárias, 'p' e 'q' representam linha e colunas quaisquer, 'v' é um critério intermediário e 'a_{ij}' determina o quanto um critério 'i' é preferível ao critério 'j'.

Assim, para identificar a presença de inconsistências, Peinado et al. (2016) orientam que a Matriz de Julgamento em análise deve ser multiplicada pelo vetor final de pesos, obtendo-se um novo vetor de pesos. Em seguida, calcula-se o autovalor máximo ' $\lambda_{m\acute{a}x}$ ', dado pelo somatório de todos os valores que compõem o novo vetor de pesos. Segundo Passos (2010), a inconsistência pode ser indiretamente verificada através do desvio de ' $\lambda_{m\acute{a}x}$ ' em relação à ordem da Matriz de Julgamentos, 'n'. Deste modo, determina-se um Índice de Consistência do julgamento, 'IC', por meio da Equação 1.

$$IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

- ' $\lambda_{m\acute{a}x}$ ' é o autovalor máximo;
- 'IC' é o índice de consistência do julgamento realizado;
- 'n' é a ordem da Matriz de Julgamento.

Comparando-se o valor de 'IC' a uma situação em que os julgamentos da matriz fossem feitos de forma totalmente randômica, é possível se observar, enfim, o grau de inconsistência do julgamento realizado. Para isso, utilizam-se os Índices Randômicos, 'IR', conforme exposto na Tabela 2.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48

Tabela 2 – Índices Randômicos ‘IR’ em função da ordem ‘n’ da Matriz de Julgamento

Fonte: Adaptado de Saaty (2008 apud PEINADO et al., 2016, p. 15)

Calcula-se, em seguida, a Razão de Consistência da matriz, ‘RC’, dada pela razão entre ‘IC’ e ‘IR’. De acordo com Passos (2010), essa razão expressa o percentual de vezes em que as respostas dadas na Matriz de Julgamento foram aleatórias. Assim, para que seja considerada consistente, o autor sugere a utilização de valores de ‘RC’ inferiores a 0,05 no caso de matrizes de ordem 3; inferiores a 0,08 para matrizes de ordem 4; e valores inferiores a 0,1 para as demais matrizes.

No caso de se utilizar vários decisores para julgamento dos critérios estabelecidos, tem-se como resultado vários vetores finais de pesos (um para cada decisor). A fim de se levar em consideração todos esses julgamentos simultaneamente, Passos (2010) orienta que se efetue a média geométrica de cada elemento dos vetores de peso. Rabbani e Rabbani (1996 apud WOLFF, 2008, p. 23) destacam que, nessa situação, a única média que funciona é a média geométrica, uma vez que o recíproco da média geométrica em um conjunto de julgamentos é a média geométrica dos recíprocos, obedecendo ao princípio de reciprocidade da Escala Fundamental de Saaty.

Após definir os pesos de cada critério, a próxima etapa é avaliar as alternativas em relação aos critérios. Para isso, uma das possibilidades, de acordo com Passos (2010), é realizar um processo muito semelhante ao que foi feito para pontuar os critérios. Assim, segundo Passos (2010, p. 45):

As diversas alternativas disponíveis são analisadas sob a visão de cada critério individualmente. Assim, para um critério ‘i’ genérico todas as alternativas [...] são comparadas duas a duas com a Escala Fundamental de Saaty. Esses julgamentos são consolidados em uma matriz de comparações paritárias. De forma análoga à seção anterior é definido um vetor de pesos para essa matriz. Esse vetor de pesos indica o quanto uma alternativa é boa quando comparada às outras sob a visão do critério ‘i’.

Wolff (2008) destaca que, na análise dos critérios, a comparação era feita somente uma vez, haja vista que só havia um elemento no nível imediatamente superior na Árvore de Critérios. Já na etapa de avaliação das alternativas, estas são comparadas entre si ‘n’ vezes, por haver ‘n’ critérios a serem analisados.

Finalmente, após definidos os vetores de pesos dos critérios e o vetor de pontuação das alternativas com base em julgamentos consistentes, o passo final é agregar esses valores para obtenção do resultado final (PASSOS, 2010). De acordo com o autor, isso pode ser feito por meio da Equação 2. Deste modo, quanto maior é o valor de ‘f’ calculado para a alternativa, melhor ela será considerada para a resolução do problema decisório em análise.

$$f(a) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot v_j(a) \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

- 'w_j' é o peso do 'j-ésimo' critério;
- 'v_j' é o desempenho da alternativa 'a' com relação ao 'j-ésimo' critério;
- 'f (a)' é o resultado final da alternativa 'a'.

3 | MÉTODO DE PESQUISA

A presente pesquisa tem como objetos de estudo os métodos de mensuração do grau de aplicação da Construção Enxuta em empresas construtoras desenvolvidos por Hofacker et al. (2008), Carvalho (2008), Pereira (2012), Kurek et al. (2013), Tonin e Schaefer (2013) e Souza e Cabette (2014).

Inicialmente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica a respeito de tais métodos, de modo a coletar informações sobre seus respectivos funcionamentos e aplicações anteriores em canteiros de obras. O levantamento bibliográfico foi realizado com o auxílio das plataformas digitais Google Acadêmico, Periódicos da CAPES e Scielo, de modo que foram consultados artigos, livros, teses, dissertações e monografias sobre a temática, publicados em português, inglês ou espanhol.

Para hierarquizar os métodos de mensuração em análise de acordo com a sua eficiência, utilizou-se o *Analytic Hierarchy Process* (AHP). O processo de hierarquização foi realizado sob a luz de cinco critérios de avaliação, conforme detalhado no Quadro 2.

Critério	Significado/importância	Pergunta-chave
Consistência Lógica	Avaliar se o método apresenta procedimentos coerentes, capazes de mensurar assertivamente a realidade da empresa analisada.	É consistente e coerente com a realidade?
Simplicidade e clareza	Avaliar se o método é de fácil compreensão e se os tópicos constantes em sua ficha avaliativa são claros. Também se avalia se o esforço despendido para a aplicação do método é razoável.	É simples e claro em sua compreensão e aplicação?
Relevância	Avaliar se o diagnóstico final fornecido pelo método é útil à empresa avaliada, de modo a guiá-la na melhoria de seus processos.	É útil à realidade?
Apoio teórico	Avaliar se os tópicos da ficha avaliativa de cada método são coerentes com os fundamentos da filosofia <i>Lean Construction</i> , segundo os autores mais referenciados na literatura.	Possui embasamento teórico?
Especificidade	Avaliar se os tópicos da ficha avaliativa do método são aplicáveis a quaisquer empresas construtoras.	É aplicável às diversas naturezas de obras existentes?

Quadro 2 – Critérios avaliativos dos métodos de mensuração

Fonte: Autoria Própria (2017)

Inicialmente, elegeu-se os decisores que opinariam a respeito dos pesos de cada critério pré-estabelecido. Foram considerados aptos a assumir o papel de decisor na análise os pesquisadores que possuíssem publicações científicas a respeito da temática da Construção Enxuta ou temáticas correlatas. Foram selecionados seis decisores para colaborarem com essa etapa da avaliação.

Uma vez definidos os decisores do processo, a etapa que se seguiu foi a ponderação dos critérios. O contato com os pesquisadores se deu de duas maneiras, pessoalmente ou através de e-mail, dependendo da disponibilidade do decisor. O questionário de avaliação utilizado solicitou aos decisores que avaliassem os critérios aos pares, por meio do seguinte questionamento: 'quão mais/menos importante é o CRITÉRIO A em relação ao CRITÉRIO B, no que se refere a avaliar métodos de mensuração da filosofia *Lean Construction*?'.

Salienta-se que, antes do início do preenchimento do questionário, os pesquisadores foram informados do compromisso de que as respostas dadas por eles seriam utilizadas anonimamente na pesquisa. Além disso, é importante se destacar que o questionário foi aplicado de modo que o decisor tivesse livre acesso para consultar a escala de valoração do método (Quadro 1) e a descrição dos critérios em análise (Quadro 2) ao longo de todo o processo de avaliação.

Com base nas respostas fornecidas, utilizou-se o *software AHP Priority Calculator*, de Goepel (2011), para realizar os procedimentos de cálculos proposto pelo método AHP, de modo a se determinar os pesos de cada critério na avaliação final. Salienta-se que os decisores que obtiveram 'RC' maior que o limite de 0,1 foram convidados a rever suas respostas, de modo que somente foram utilizadas na pesquisa as contribuições dos decisores que, ao final do processo, conseguiram se manter inferiores ao limite supracitado.

A etapa seguinte foi referente à avaliação de cada método de mensuração com base nos critérios estabelecidos. Com base nas informações coletadas a respeito de cada método, as ferramentas de mensuração em estudo foram avaliadas par a par, de modo a utilizar a mesma escala de valoração já apresentada no Quadro 1. Destaca-se que, neste caso, a comparação par a par dos métodos foi realizada somente pelos autores deste estudo.

Por fim, foi possível hierarquizar as ferramentas estudadas, comparando-se as avaliações finais de cada método, calculadas por meio da Equação 2.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, com base nas respostas dadas pelo primeiro decisor do processo de ponderação dos critérios do método AHP, denominado Decisor A, obteve-se a Matriz de Julgamento exposta na Tabela 3:

Crêterios	Consistência Lógica	Simplicidade e Clareza	Relevância	Apoio Teórico	Especificidade
Consistência Lógica	1	5	1	1/3	5
Simplicidade e Clareza	1/5	1	1/7	1/5	1
Relevância	1	7	1	3	5
Apoio Teórico	3	5	1/3	1	3
Especificidade	1/5	1	1/5	1/3	1

Tabela 3 – Matriz de Julgamento do Decisor A

Fonte: Aurtoria Própria (2017)

Em seguida, com o auxílio do *software AHP Priority Calculator*, determinou-se o vetor de pesos associado à Matriz de Julgamento supracitada, exposto na Tabela 4. Além disso, também foi possível determinar a razão de consistência, ‘RC’, das respostas dadas pelo decisor, obtida como sendo 0,098. É importante ressaltar que tal  ndice foi considerado aceitável, uma vez que era inferior ao limite máximo proposto (0,1).

Cr�terio	Peso
Consistência Lógica	0,229229
Simplicidade e Clareza	0,048649
Relevância	0,383838
Apoio teórico	0,278765
Especificidade	0,059518

Tabela 4 – Vetor de pesos associado à Matriz de Julgamento do Decisor A

Fonte: Aurtoria Própria (2017)

Realizou-se processo análogo com as respostas dadas pelos demais decisores do processo, obtendo-se, para cada um deles, um vetor de pesos, conforme exposto na Tabela 5. Salienta-se que todas as razões de consistência foram inferiores ao limite máximo estipulado, possibilitando que as respostas desses decisores fossem aceitas.

Crêterios	Vetores de Pesos					
	Decisor A	Decisor B	Decisor C	Decisor D	Decisor E	Decisor F
Consistência Lógica	0,2292	0,5303	0,3747	0,1009	0,1452	0,1466
Simplicidade e Clareza	0,0486	0,1589	0,0749	0,0492	0,2821	0,2792
Relevância	0,3838	0,0428	0,3747	0,4742	0,4106	0,0931
Apoio Teórico	0,2788	0,2094	0,1361	0,0652	0,0585	0,3345
Especificidade	0,0595	0,0586	0,0396	0,3105	0,1037	0,1466
Razão de Consistência (RC)	0,0976	0,0994	0,0427	0,0648	0,0956	0,0665

Tabela 5 – Vetor de pesos associado a cada decisor do método AHP

A fim de unificar as opiniões de todos os decisores, determinou-se a média geométrica de cada uma das linhas da Tabela 5, obtendo-se um vetor final de pesos para os critérios, exposto na Tabela 6.

Critério	Peso
Consistência Lógica	0,214661
Simplicidade e Clareza	0,114400
Relevância	0,219360
Apoio Teórico	0,147109
Especificidade	0,093132

Tabela 6 – Vetor final de pesos dos critérios do método AHP

Fonte: Autoria Própria (2017)

A etapa seguinte consistiu em realizar uma comparação par a par com os instrumentos de mensuração analisados em relação a cada um dos critérios avaliados. Deste modo, obtiveram-se cinco matrizes de julgamento (uma para cada critério analisado) e, para cada uma delas, determinou-se o vetor de pesos e a razão de consistência associados, expostos na Tabela 7.

Alternativas	Vetor de pesos associados a cada critério				
	Consistên- cia Lógica	Simplicidade e Clareza	Rele- vância	Apoio Teórico	Especifici- da-de
Hofacker et al. (2008)	0,1213	0,1084	0,2223	0,2970	0,0961
Carvalho (2008)	0,1996	0,0454	0,5573	0,0818	0,0561
Pereira (2012)	0,5214	0,4227	0,0741	0,1553	0,3376
Kurek et al. (2013)	0,0481	0,1706	0,0411	0,1553	0,1701
Tonin e Schaefer (2013)	0,0804	0,1706	0,0772	0,1553	0,1701
Souza e Cabette (2014)	0,0293	0,0822	0,0278	0,1553	0,1701
Razão de Consis- tência (RC)	0,0870	0,0202	0,0755	0,0015	0,0176

Tabela 7 – Julgamento das alternativas em relação a cada critério

Fonte: Autoria Própria (2017)

Finalmente, com o auxílio da Equação 2, foi possível determinar a avaliação final de cada uma das alternativas e, com base nesses resultados, hierarquizá-las em relação a sua eficiência em mensurar o uso da filosofia *Lean Construction* em canteiros de obras e empresas construtoras, como apresentado na Tabela 8.

Alternativas	Avaliação Final	Classificação
Pereira (2012)	0,23082	1º

Carvalho (2008)	0,18755	2º
Hofacker et al. (2008)	0,13986	3º
Tonin e Schaefer (2013)	0,09241	4º
Kurek et al. (2013)	0,07755	5º
Souza e Cabette (2014)	0,06047	6º

Tabela 8 – Avaliação final e hierarquização das alternativas

Fonte: Autoria Própria (2017)

Como pode ser observado na Tabela 8, os métodos de Pereira (2012) e de Carvalho (2008) são considerados os mais eficientes em mensurar o uso da filosofia *Lean Construction* nas empresas construtoras. De fato, o método de Pereira (2012) se destaca positivamente nos critérios ‘consistência lógica’, ‘simplicidade e clareza’ e ‘especificidade’, haja vista sua formulação concisa, com questões de fácil entendimento e que solicitam informações ao entrevistado que ele certamente deve possuir por conta de sua experiência na empresa. Além disso, o sistema de respostas utilizado pela autora (questões de múltipla escolha) permite um correto equilíbrio entre a subjetividade e a objetividade dos dados que são coletados. Ao estabelecer múltiplas respostas possíveis para a mesma questão, permite-se a avaliação do desempenho da empresa em diferentes níveis; ao mesmo tempo, considerando-se que as respostas são pré-definidas, mitiga-se a subjetividade das respostas do entrevistado.

Em relação ao método de Carvalho (2008), tem-se destaques negativos em três critérios (‘simplicidade e clareza’, ‘apoio teórico’ e ‘especificidade’), devido ao alto grau de complexidade de sua aplicação (requer diversas entrevistas com representantes da empresa), além de incoerências conceituais de algumas de suas questões com relação aos preceitos da filosofia. Entretanto, seu destaque positivo no critério ‘relevância’ faz com que conquiste um bom desempenho na avaliação final realizada, uma vez que esse critério foi ponderado com o maior peso na percepção dos decisores do AHP (Tabela 6). Esse destaque positivo ocorre devido à utilidade dos resultados apresentados pelo método: ao apresentar gráficos ‘radar’ com as percepções de diferentes setores da empresa (diretoria, engenharia, operários, projetistas, fornecedores e clientes), permite-se estabelecer comparações sobre a imagem veiculada pela empresa em diferentes setores associados a ela. Além disso, a utilização de gráficos facilita a interpretação dos dados, haja vista o apelo visual obtido.

Por outro lado, os métodos de Kurek et al. (2013) e Souza e Cabette (2014) foram considerados os menos eficientes em mensurar o grau de aplicação da Construção Enxuta em empresas construtoras, de acordo com a hierarquização realizada. De fato, ao apresentar resultados essencialmente abstratos (no caso de Kurek et al. (2013) os resultados são apresentados na forma de um índice matemático, e no caso de Souza e Cabette (2014) tem-se somente os dados coletados nas questões dissertativas do questionário), carece-se de informações efetivamente úteis à empresa construtora a

fim de contribuir em seu processo de implementação da filosofia *Lean*.

Os métodos de Tonin e Schaefer (2013) e Hofacker et al. (2008) aparecem com desempenho mediano na hierarquização realizada. Esse fato ocorre devido à formulação razoável de suas fichas avaliativas, que não apresentam problemas substanciais. Contudo, devido a algumas problemáticas de menor grau de importância, também não se destacam em relação aos demais.

5 | CONCLUSÃO

Neste estudo, através do *Analytic Hierarchy Process* (AHP), foi possível realizar uma hierarquização das principais ferramentas de mensuração do grau de aplicação da Construção Enxuta em empresas construtoras em relação a sua eficiência, de modo que se atingiu o objetivo pretendido. A partir da hierarquização realizada, conclui-se que o método mais indicado para ser utilizado é o proposto por Pereira (2012), devido à sua simplicidade e adaptabilidade a obras de diferentes naturezas.

Entretanto, também se observou que, todavia, não há um método que seja inequívoco em mensurar o uso da filosofia *Lean* nas empresas construtoras: todos apresentam problemas que, em maior ou menor grau, prejudicam a assertividade e a representatividade dos resultados gerados. Assim, para a utilização das ferramentas analisadas, é indispensável a presença de um profissional com notável saber sobre a temática da Construção Enxuta, de modo que este possa interpretar os resultados fornecidos pelo método de mensuração e julgar sua utilidade para a empresa.

Como sugestão a trabalhos futuros, propõe-se a criação de novas ferramentas capazes de auxiliar o processo de implementação da Construção Enxuta nos canteiros de obras. Para isso, sugere-se que essas ferramentas tenham seus procedimentos metodológicos simplificados de modo a dispensar, ao menos na fase inicial de implementação da filosofia na empresa, a presença de um profissional especializado no assunto. Dessa forma, ao possibilitar que os próprios colaboradores da empresa executem o autodiagnóstico por meio da ferramenta criada, diminuem-se as barreiras para a disseminação da filosofia no segmento da construção civil.

6 | RECONHECIMENTOS

Presta-se o devido reconhecimento de publicação original desse estudo à Revista Gestão Industrial (ISSN 1808-0448), sendo que a pesquisa foi publicada no **v.14/n. 4** do referido periódico.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard Practice for Applying Analytical Hierarchy Process (AHP) to Multiattribute Decision Analysis of Investments Related to Buildings and Building Systems**. ASTM E1765. West Conshohocken, PA, USA, 2011.
- BEN, F. **Utilização do método AHP em decisões de investimento ambiental**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., 2006, Fortaleza. Anais... Fortaleza: ABEPRO, 2006. p. 1-8.
- CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Boletim Estatístico. Ano XIII, n. 3: mar.**, 2017. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/Boletim_Ano13n03.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2017.
- CARVALHO, B. S. **Proposta de uma ferramenta de análise e avaliação das construtoras em relação ao uso da Construção Enxuta**. 2008. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- HEINECK, L. F. M. et al. **Introdução aos conceitos Lean: visão geral do assunto**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2009. 104 p. 1 v. Coletânea Edificar Lean - construindo com o Lean Management.
- HOFACKER, A. et al. **Rapid Lean Construction - Quality Rating Model**. IGLC - International Group for Lean Construction. Manchester - UK, 2008.
- GOEPEL, K. D. **AHP Priority Calculator**. 2011. Disponível em: <http://bpmsg.com/academic/ahp_calc.php>. Acesso em: 15 ago. 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa anual da Indústria da Construção**. Rio de Janeiro: 2015. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html>>. Acesso em: 02 nov. 2017.
- JUSTA, M. A. O. **Fatores críticos de sucesso para a implementação da manufatura enxuta**. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, v. 10, n. 2, p.305-325, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/1659/1844>>. Acesso em: 07 fev. 2018.
- KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to the Construction industry**. Technical Report n. 72, Center for Integrated Facilities Engineering, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, CA, 1992.
- KUREK, J. et al. **Implantação dos princípios da Construção Enxuta em uma empresa construtora**. Revista de Arquitetura da Imed, Passo Fundo, v. 2, n. 1, p.20-36, jan. 2013.
- MACHADO, R. L.; HEINECK, L. F. M. **Estratégias de produção para a Construção Enxuta**. 2015. Disponível em: <http://www2.ucg.br/nupenge/pdf/Ricardo_Machado_1.pdf>. Acesso em: 14 set. 2016.
- OLIVEIRA, B. F. et al. **Um modelo de avaliação do grau de aplicação de ferramentas Lean em empresas construtoras: o Rapid Lean Construction-Quality Rating Model (LCR)**. Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial, Florianópolis, v. 2, n. 2, p.156-174, dez. 2010.
- PASSOS, A. C. **Definição de um índice de qualidade para distribuidoras de energia elétrica utilizando o apoio multicritério à decisão e análise de séries temporais**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- PEINADO, H. S. et al. **Método AHP para tomada de decisão multicritério**. Maringá: EDUEM, 2016. 34 p. (Coleção Fundamentum; 103).

PEREIRA, M. C. **Avaliação e análise da aplicação da filosofia Lean em empresas de Construção Civil da região metropolitana de Belo Horizonte**. 2012. 96 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

SOUZA, B. C.; CABETTE, R. E. S. **Gerenciamento da Construção Civil: estudo da aplicação da “Lean Construction” no Brasil**. Revista de Gestão & Tecnologia, Lorena, v. 1, n. 2, p.21-26, dez. 2014.

TONIN, L. A. P.; SCHAEFER, C. O. **Diagnóstico e aplicação da Lean Construction em uma construtora**. Iniciação Científica Cesumar, Maringá, v. 15, n. 1, p.23-31, jan. 2013.

TRIANANTAPHYLLOU, E.; MANN, S. H. **Using the Analytic Hierarchy Process for decision making in engineering applications: some challenges**. International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice. Cincinnati, p. 35-44.1995.

WOLFF, C. S. **O método AHP: revisão conceitual e proposta de simplificação**. 2008. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

SEGURANÇA DO TRABALHADO EM CAMPOS PETROLÍFEROS ONSHORE DA BACIA SERGIPE-ALAGOAS: PERCEPÇÕES SOBRE TERCEIRIZAÇÃO, ACIDENTES OMITIDOS E PROCEDIMENTOS ADEQUADOS

Milson dos Santos Barbosa

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos
Aracaju – Sergipe

Débora da Silva Vilar

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos
Aracaju – Sergipe

Aline Resende Dória

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos
Aracaju – Sergipe

Adyson Barboza Santos

Faculdade Pio Décimo, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Segurança no Trabalho
Aracaju – Sergipe

Elayne Emilia Santos Souza

Universidade Tiradentes, Coordenação de Engenharia de Petróleo
Aracaju – Sergipe

Luiz Fernando Romanholo Ferreira

Universidade Tiradentes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos
Aracaju – Sergipe

RESUMO: A segurança do trabalho na indústria de petróleo e gás ainda é precária. Especialmente em campos *onshore*, o uso de abordagens para minimizar riscos associados

às atividades desenvolvidas é ainda mais ultrapassado. A significativa terceirização das funções no setor petrolífero torna ainda mais provável a ocorrência de acidentes de trabalho. Uma vez que muito dos acidentes ocorridos com trabalhadores terceirizados não são registrados e, como consequência, medidas preventivas à jusante não são adotadas para evitar novos acidentes. A fim de relatar a realidade e contribuir para a melhoria da segurança e saúde de trabalhadores envolvidos em atividades relacionadas à área de petróleo de gás, o presente estudo exhibe os impactos da terceirização acerca de trabalhadores que desenvolvem atividades laborais no em campos petrolíferos *onshore* da Bacia Sergipe-Alagoas. Para alcançar esse objetivo, realizou-se uma investigação de dados atuais no setor de segurança do trabalho na área de petróleo, a partir de relatos bibliográficos e boletins internos de empresas. Em seguida, acidentes de trabalho omitidos por empresas contratantes são revelados. Finalmente, são indicadas medidas corretivas e procedimentos adequados para reduzir ou evitar o acometimento de novos acidentes.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança do trabalho. Indústria do petróleo. Terceirização

ABSTRACT: Work safety in petroleum and gas industry is still precarious. Especially in onshore

fields, use of approaches to minimize risks associated with activities developed is even more outdated. The significant outsourcing of functions in petroleum sector makes work accidents even more likely. Since many accidents with outsourced workers are not recorded and, as a consequence, downstream preventive measures are not adopted to prevent further accidents. In order to report on reality and contribute to improvement of the safety and health of workers involved in activities related to area of petroleum, present study shows the impacts of outsourcing on workers who work in onshore oil fields of the Basin Sergipe-Alagoas. In order to achieve this objective, an investigation of current data in petroleum area was carried out, based on bibliographical reports and internal bulletins of companies. Then, work accidents omitted by contracting companies are revealed. Finally, corrective measures and adequate procedures are indicated to reduce or avoid occurrence of new accidents.

KEYWORDS: Work safety. petroleum industry. Outsourcing

1 | INTRODUÇÃO

O petróleo e seus derivados são importantes fontes de energia e matéria-prima para inúmeras indústrias. A alta demanda por produtos petrolíferos no dia a dia exige incessantes avanços tecnológicos em toda cadeia produtiva da indústria petrolífera. Esse progresso ocorre desde o início da exploração do petróleo na Pensilvânia, durante o século XIX. Naquela altura, todo trabalho era desenvolvido de forma manual e desprovido de preocupações com os possíveis acidentes com os operários. No século XX, precisamente após a segunda guerra mundial, os combustíveis fósseis se estabeleceram como uma extraordinária fonte de energia (DIAS e QUAGLINO, 1993; YERGIN, 2010).

Aimensurável dependência dos derivados do petróleo implicou em na necessidade de processos contínuos e terceirizados, o que instituiu a jornada de trabalho vinte e quatro horas por dia (SOUZA et al., 2012). Nesse contexto, trabalhadores são submetidos à escala de sete ou quatorze dias consecutivos, doze horas por dia, com folga de sete ou quatorze dias dependendo da empresa (LEITE, 2009; MORAIS 2013). Quando embarcado, o colaborador tem a percepção de ausência de privacidade, haja vista que o mesmo é obrigado a compartilhar praticamente todo o seu dia com os demais trabalhadores. Já que parte dos trabalhadores que estão em serviço continua a manter contato com aqueles que estão em horário de descanso, uma vez que os alojamentos fornecidos para repouso ficam circunscritos na área de produção. Ademais, estes profissionais estão sujeitos a uma série de situações de risco, as quais possuem potencial para provocar uma lesão e/ou doença. De forma geral, a ocorrência de incidentes e acidentes está atrelada a falhas na execução de projetos, ausência de manutenção de ferramentas e equipamentos, falta de fiscalização no uso de equipamentos de proteção individual (EPIs), além de atitudes impróprias e posturas inadequadas dos trabalhadores, também denominados como “atos inseguros”

(FIGUEIREDO et al., 2007; MEARNNS e YULE, 2009; KORUGI, 2015; BJERGA e AVEN, 2016).

De acordo como a Federação Nacional dos Petroleiros, ocorrência de acidentes de trabalho na indústria de petróleo e gás são constantes e, na grande maioria dos casos, as empresas não emitem o documento de Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT). Assim como muitas destas empresas negam-se a reconhecer o Sindicato Unificado dos Trabalhadores Petroleiros (SINDIPETRO) como representante dos trabalhadores da área, com o intuito de enfraquecer a luta dos petroleiros pelos seus direitos e minimizar o controle de acidentes ocorridos (FNP, 2012).

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013) indicaram que, em 2012, mais de 110 mil pessoas trabalhavam de forma direta em toda a cadeia de prospecção, exploração, produção e comercialização do petróleo e gás no Brasil. Levando em conta a quantidade de trabalhadores que prestam serviços por meio de empresas terceirizadas, esse número aumenta significativamente. O processo de terceirização tem como finalidade principal a redução de custos operacionais, de modo a possibilitar a maximização dos lucros para a empresa contratante (CORIOLANO et al., 2013). É importante frisar que apesar de prestarem serviços essenciais, os trabalhadores terceirizados quando comparados aos trabalhadores efetivos da empresa, tendem não somente a ganhar menores salários, mas também receber menos treinamentos relacionados a saúde e segurança do trabalho e a desenvolver suas atividades em condições mais precárias (FIGUEIREDO et al., 2007; MARTINS, 2005).

A partir dos conhecimentos relatados e com a carência de estudos relacionadas a segurança do trabalho na indústria petrolífera, esse estudo descreve a realidade atual no tocante à segurança de trabalhadores envolvidos em campos petrolíferos *onshore* da Bacia Sergipe-Alagoas. Para isso, são relatadas percepções sobre os impactos da terceirização e omissões de acidentes graves com petroleiros. Além disso, são sugeridos procedimentos adequados para reduzir os acidentes e proporcionar um ambiente mais seguro aos trabalhadores.

2 | METODOLOGIA

A natureza metodológica adotada nesse estudo baseou-se em referências encontradas em estudos científicos e boletins emitidos por meio de empresas, sindicatos e imprensa especializada da área de segurança do trabalho e no setor petrolífero. A fim de tornar mais real as análises a respeito dos acidentes e suas possíveis causas, foram realizados estudos mais aprofundados a partir de CATs, catalogados em empresas prestadoras de serviços terceirizados que atuam em campos petrolíferos *onshore* da Bacia Sergipe-Alagoas. CAT é um documento que deve ser emitido obrigatoriamente pela empresa para comunicar a ocorrência do acidente

de trabalho ou doença ocupacional ao Ministério do Trabalho e Previdência Social (MTPS), contendo informações que obedecem a um padrão que independe do tipo de atividade produtiva desenvolvida, onde são descritas todas as características e causas do acidente. Os CATs foram fornecidos gentilmente por profissionais responsáveis pela área de segurança do trabalho da empresa terceirizada e os itens considerados foram os seguintes: descrição da situação geradora do acidente; horário e horas trabalhadas antes do acidente; agentes causadores; e medidas de controle. Além disso, foram realizadas conversas informais com trabalhadores da empresa terceirizada, a fim de obter informações mais precisas sobre as principais causas dos acidentes ocorridos.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 A terceirização e seus impactos na segurança do trabalho

De acordo com a Federação Nacional dos Petroleiros, em 2015, a maior estatal brasileira possuía cerca de 82 mil trabalhadores efetivos e mantinha mais de 260 mil trabalhadores prestando serviços terceirizados. Considerando as empresas subsidiárias vinculadas à Petrobras (Transpetro, Gaspetro, Liquigás, Petrobras Distribuidora e Petrobras Biocombustível), o número de trabalhadores terceirizados superava os 350 mil. Diante desses dados, pode-se dizer que para cada concursado efetivo tem-se quatro terceirizados atuando nas diversas áreas da estatal e de suas subsidiárias, o que representa cerca de 81% do quadro de trabalhadores da Petrobras. Entre as principais razões para esse elevado número de terceirizados, três se destacam: a redução de investimentos em concursos públicos por parte do Governo Federal e maior interesse na política de terceirização de serviços; a crescente busca da Petrobras pelo alcance da meta nacional de autossuficiência em petróleo e consequente interesse por serviços mais especializados, e; o longo período fundamental para capacitar trabalhadores concursados, visto que geralmente são necessários dois anos para treiná-los, o que é dispensado com a contratação de serviços terceirizados (FIGUEIREDO et al., 2007).

Por sua própria natureza, todos os trabalhadores envolvidos no desenvolvimento das atividades petrolíferas estão expostos a elevados riscos de acidentes. Se tratando dos trabalhadores terceirizados, a exposição a estes riscos é ainda maior. A razão para isto é o fato destes trabalhadores realizem a maior parte das atividades mais perigosas do setor, concomitantemente, dispõem de menos treinamento/capacitação regular e, usufruem de menos direitos quando comparados com os trabalhadores diretos das empresas, tendo isto diversos impactos na segurança do colaborador. Esses fatos podem justificar os indicadores de acidentes divulgados pela Federação Única dos Petroleiros (FUP), em fevereiro de 2015, que revelou que entre os anos de 1995 e 2014 ocorrem 344 mortes por acidentes de trabalho em todo o Sistema Petrobras e destas, 280 mortes foram com trabalhadores terceirizados, o que representa mais de 81% do total das mortes por acidente de trabalho da estatal (FIGUEIREDO, 2015).

Estudos realizados nos últimos anos relacionados à segurança do trabalho indicam que o crescente processo de terceirização tem implicado na deterioração da segurança e qualidade de vida dos trabalhadores ligados ao setor de óleo e gás (MARTINS, 2005; BJERGA e AVEN, 2016). Em síntese, as empresas contratantes transferem a outra suas atividades-meio, a fim de reduzir os custos e aumentar o conhecimento técnico da atividade e, as empresas contratadas, para cumprir com o contrato cobrando menos pelo serviço, acabam investindo menos em qualificação e segurança (OIT, 1993; DO BONFIM e GOMES, 2016). O somatório dessas condições nas quais os funcionários estão expostos tem consequência direta na saúde e segurança do colaborador. Por via de regra, além de salários e benefícios auxiliares significativamente inferiores, os trabalhadores terceirizados estão mais sujeitos às condições precárias de trabalho, tais como ausência ou não renovação periódica de equipamentos de proteção individual, treinamentos insuficientes, intensificação de jornada de trabalho, menor segurança e maior exposição à ambientes insalubres. Além de toda problemática relatada anteriormente, a terceirização tem camuflado os acidentes ocorridos com trabalhadores das empresas prestadoras de serviços, visto que geralmente as empresas contratantes notificam somente os acidentes ocorridos com os funcionários efetivos. Dessa forma, os acidentes e doenças de trabalho que abrangem os trabalhadores terceirizados não são registrados pela empresa contratante e, por via de regra, nunca são notificados ao Ministério do Trabalho e Previdência Social, com exceção apenas para casos mais graves (BORGES e FRANCO, 1997; DO BONFIM e GOMES, 2016).

3.2 Acidentes omitidos

As CATS que descrevem de forma detalhada os agentes geradores de acidentes tendem a ser rotulados como falhas técnicas quando estes estão associados à trabalhadores terceirizados. A investigação durante o desenvolvimento desse estudo culminou na geração de CATS, que descrevem os acidentes omitidos ao Ministério do Trabalho e Previdência Social. É importante frisar que os referentes laudos foram elaborados para fins de controle interno, haja vista, que de forma errônea estes acidentes não foram comunicados ao órgão competente.

Acidente 1: Em uma sonda terrestre de perfuração, durante a realização da atividade de conexão de uma seção de HW (tubos de perfuração pesados) em um drilling jar (percussor de perfuração) acunhado na mesa, o plataformista desequilibrou-se ao afastar a chave hidráulica, apoiando a mão no espaço entre o tool joint (conexão) superior do drilling jar e a abraçadeira de proteção do mandril. No mesmo momento, o drilling jar fechou, o que provocou o esmagamento total da mão esquerda do colaborador e consequente amputação. O desequilíbrio ocorreu porque o colaborador estava sobre uma caixa plástica (utilizada para guardar uma broca de perfuração), que foi improvisada para lhe conferir maior altura de trabalho necessária para acesso à chave hidráulica.

Horário e horas trabalhadas antes do acidente:

O acidente ocorreu por volta das 18 horas e 20 minutos, após 11 horas e 20 minutos de trabalho do colaborador (plataformista).

Agentes causadores do acidente:

- ✓ Projeto inadequado da abraçadeira;
- ✓ Falhas na identificação de desvios na execução das atividades da sonda;
- ✓ Adoção de postura indevida para a tarefa;
- ✓ Não avaliação (na sequência de manobras) dos riscos do posicionamento do drilling jar.

Medidas de controle:

- ✓ Auditar as práticas operacionais utilizadas nas sondas e corrigir os desvios encontrados;
- ✓ Orientar as equipes e posicionar a conexão da coluna a uma altura de trabalho adequada para realização da atividade;
- ✓ Substituir as abraçadeiras curtas pelas de tamanho adequado para atender as necessidades do colaborador.

Acidente 2: Ao término da arrumação dos tubos de revestimento na área próximo ao cavalete de tubo para a liberação da área e entrada das unidades de cimentação, o operador de multiuso, ao realizar uma manobra em marcha ré, não percebeu a presença do colaborador que calçava os tubos que sobraram, atingindo-o na região dorsal com o garfo da referida máquina e arremessando-o ao chão, causando fratura nas 9ª e 10ª costelas esquerda.

Horário e horas trabalhadas antes do acidente:

O acidente ocorreu por volta das 18 horas e 40 minutos, após 11 horas e 40 minutos de trabalho do colaborador.

Agentes causadores do acidente:

- ✓ Atitude inadequada do técnico de cimentação;
- ✓ Falha na percepção de riscos, pois o técnico de cimentação adentrou na região em que a Multiuso se encontrava fazendo a movimentação de cargas, sem antes avisar ao operador da máquina.

Medidas de controle:

- ✓ Reforçar nos Diálogo Diário de Segurança, Meio Ambiente e Saúde (DDS-MS) que durante os trabalhos com movimentação de cargas, somente deverão permanecer no local as pessoas efetivamente envolvidas na atividade;
- ✓ Promover ações, como por exemplo estudo de caso de alertas Segurança, Meio Ambiente e Saúde (SMS) já divulgados, junto às equipes operacionais com objetivo de reduzir os desvios de ordem comportamentais.

Acidente 3: Durante a elevação da plataforma de trabalho, utilizando cat line, inicialmente foi feito o içamento (de aproximadamente 15 cm) de um lado (o oposto ao operador), colocando-o no furo acima. Na sequência, enquanto o plataformista retirava o pino de regulagem de altura do outro lado, houve o movimento brusco da plataforma para baixo, devido a soltura acidental do gancho do cat line, ocasionando a aprisionamento do dedo do colaborador.

Horário e horas trabalhadas antes do acidente:

O acidente ocorreu por volta das 17 horas e 25 minutos, após 10 horas e 25 minutos de trabalho do colaborador (plataformista).

Agentes causadores do acidente:

- ✓ Procedimento inadequado devido à falta de planejamento;
- ✓ Avaliação inadequada de necessidades e riscos (pino inadequado, indisponibilidade de local adequado para fixação do pino).

Medidas de controle:

- ✓ Capacitar, treinar e conscientizar as equipes executantes de trabalhos a quente sobre os riscos envolvidos nas atividades;
- ✓ Promover treinamentos e divulgações de acidentes em DDSMS, SMS, ressaltando os riscos de operações de movimentações de cargas com cat line, os cuidados com o posicionamento das mãos e a importância de análises de riscos pré-tarefas em especial em operações não rotineiras.

Acidente 3: Ao iniciar a retirada da 13ª terceira seção de coluna, parte da estrutura da seção superior do mastro (telescópio) flambou, rompeu-se e caiu em cima de um dos plataformistas presente na plataforma de trabalho da sonda, provocando lesões na cabeça, rosto e pescoço do colaborador.

Horário e horas trabalhadas antes do acidente:

O acidente ocorreu por volta das 16 horas e 55 minutos, após 9 horas e 55 minutos de trabalho do colaborador (encarregado).

Agentes causadores do acidente:

- ✓ Flambagem e quebra da perna do mastro;
- ✓ Enfraquecimento de um dos tubos das pernas do mastro (telescópio) por desgaste, decorrente do grande tempo de utilização, com redução de parede e/ou resistência;
- ✓ Falha na identificação do desgaste do material associada ao descumprimento do procedimento de inspeção (que deve ser realizado, pelo menos, a cada 12 meses).

Medidas de controle:

- ✓ Realizar inspeções periódicas específicas, que devem ser executadas conforme cada tipo de material existente visando identificar falhas, tais como: trincas, desgastes, redução de espessura de paredes de tubos e vigas dos mastros.

Com base no que foi exposto nos casos, fica nítido que os quatro acidentes identificados durante o levantamento são graves e deveriam ter sido registrados pela empresa contratante e comunicados ao Ministério do Trabalho e Previdência Social. Por meio dos CATs, também pode-se notar que as principais causas de acidentes de trabalho com colaboradores da indústria de petróleo estão associadas à fatores como:

- ✓ Precariedade e degradação do sistema de operação e manutenção de equipamentos e maquinários, o que implica diretamente na segurança do colaborador e na produção final;
- ✓ Ausência de manutenção e atualização de procedimentos operacionais que, especialmente no setor de petróleo onde são frequentes conjunturas anormais, devem ser estabelecidas metodologias específicas para cada tipo de situação;
- ✓ Escassez de fiscalização na utilização de EPIs e treinamento em relação as medidas de segurança adotadas por colaboradores durante a execução da atividade;
- ✓ Fragilidade na identificação de desvios de segurança e na elaboração de estratégias de gerenciamento de riscos e de planejamentos de emergências laboral;
- ✓ Longas jornadas de trabalho, visto que todos os acidentes expostos ocorreram no final do expediente, quando a capacidade de concentração do colaborador é menor;
- ✓ Carência de acompanhamento psicológico, uma vez que todos os colaboradores são submetidos à escala de sete ou quatorze dias consecutivos, distantes de seus familiares e amigos, além de restrições em espaços de descanso e lazer;
- ✓ Cobrança excessiva pelo cumprimento das metas, que provoca a aceleração do ritmo de trabalho e a diminuição da atenção do colaborador durante a realização da sua tarefa.

O processo de terceirização contribui para potencialização todos os fatores citados anteriormente, uma vez que os direitos e garantias concedidos aos colaboradores terceirizados normalmente são inferiores àqueles propiciados aos colaboradores efetivos. Dentre as razões que podem explicar a precarização na segurança e maior tendência que os terceirizados tem a sofrer acidente no trabalho quando comparados aos empregados diretos, destacam-se:

- ✓ Menores salários e benefícios sociais;
- ✓ Maior jornada laboral e ritmo de trabalho mais intenso;
- ✓ Maior rotatividade, ou seja, menor estabilidade na permanência no emprego;
- ✓ Carência de representação sindical;
- ✓ Deficiência e/ou inexistência no fornecimento de equipamentos de segurança

fiscalização de uso;

- ✓ Condições laborais insalubres;
- ✓ Negligenciamento por parte da empresa contratante de registrar acidentes e adotar medidas efetivas de prevenção.

3.3 Procedimentos adequados após a ocorrência de acidentes de trabalho

Em um mundo ideal, todos os incidentes e acidentes que ocorrerem serão investigados minuciosamente para determinar todas as causas profundas dos acidentes (DAHL e KONGSVIK, 2018). Na maior parte dos casos, incidentes raramente são investigados e acidentes são investigados até certo ponto. Existe uma grande variação entre as empresas em relação aos procedimentos que utilizam para investigar incidente e acidentes (KHAN e ABBASI, 1999). Para os acidentes menores, os investigadores são normalmente os supervisores do setor e os técnicos de segurança, que geralmente promovem algum treinamento, embora nem sempre seja realizado com o tempo adequado e com os recursos necessários para uma formação aprofundada (DAHL e KONGSVIK, 2018; OIEN, 2001).

Quando se trata de um acidente sério, uma equipe de investigação é nomeada para realizar uma análise mais detalhada sobre a ocorrência. Logo, as equipes e os inspetores de acidentes se deslocam para a instalação do escritório terrestre e, posteriormente, até o local do acidente. Inicialmente, o supervisor obtém declarações escritas das vítimas e testemunhas, além de adquirir documentos relevantes (boletins, fotografias, esboços, desenhos da cena, entre outros), procedimentos e licenças relevantes para a realização do trabalho em questão. O supervisor também realiza uma investigação preliminar sobre os fatos e circunstâncias em torno do evento para estabelecer causas e recomendar ações para evitar a recorrência. Além disso, o supervisor formula o laudo técnico e o CAT, e o encaminha para o gerente geral de segurança da empresa que ficará responsável para comunicar oficialmente ao órgão de segurança local. No entanto, antes de comunicar o acidente, o gerente precisa fazer seu próprio julgamento, refletindo sobre os relatos, números e documentos das avaliações feitas pelos supervisores (BJERGA e AVEN 2016).

Uma maneira adequada de fazer isso é abordando diversos fatores, como por meio de um questionamento crítico realizado com as seguintes perguntas:

- ✓ As principais suposições que levaram a ocorrência do acidente foram identificadas e avaliadas adequadamente?
- ✓ Existe um programa de monitoramento de causas de incidentes e acidentes?
- ✓ Durante as investigações, foram realizadas análises de riscos para identificar as potenciais limitações do ambiente de trabalho?
- ✓ O nível de competência da equipe de analistas foi avaliado e contabilizado pelas vítimas e testemunhas?

- ✓ As possíveis perdas materiais foram contabilizados?
- ✓ O nível de confiança da segurança no ambiente de trabalho foi avaliado por todos os funcionários da empresa?

Em suma, os gerentes devem pensar sobre o risco e quais técnicas e princípios devem ser aplicados na tomada de decisões relacionadas à ocorrência de futuros incidentes ou acidentes. Uma vez que a tarefa de gerenciamento é equilibrar diferentes preocupações, como segurança e custos, e para fazer isso de forma coerente, é fundamental ter uma completa dimensão dos riscos associados às mais distintas funções realizadas na empresa.

4 | CONCLUSÕES

Uma abordagem do cenário atual da segurança de trabalhadores que desenvolvem atividades laborais na indústria de petróleo e gás em campos *onshore* da Bacia Sergipe-Alagoas foi apresentada nesse estudo. De uma forma geral, os resultados indicaram que os agentes causadores de acidentes são ainda mais frequentes nas atividades desenvolvidas por colaboradores terceirizados. Tal afirmação corrobora com o fato de que os riscos se agravam e se ampliam com a terceirização, visto que os colaboradores indiretos recebem não somente menores salários, mas também exercem suas funções em condições mais precárias, com maiores cargas de trabalho e menores treinamentos de segurança. Além disso, visando a melhoria na segurança dos trabalhadores ligados às atividades desenvolvidas na indústria petrolífera, foram apontadas metodologias adequadas para elucidação e minimização de ocorrência de acidentes.

REFERÊNCIAS

BJERGA, T.; AVEN T. **Some perspectives on risk management: A security case study from the oil and gas industry**. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: J Risk Reliability 2016 Aug;14(2):1748006-16654589, doi: 10.1177/1748006X16654589

BORGES, A.; FRANCO, A. **Mudanças de gestão: para além dos muros da fábrica**. Bahia: Editora EDUFBA; 1997. 63-66 p.

CORIOLOANO, A. C. F.; REIS, E. M.; DELGADO, R. C. O. B. **A indústria do petróleo e os modelos de contrato para exploração e produção no Brasil**. Revista Eletrônica de Petróleo e Gás RUnPetro 2013 Apr;2(1):21-30.

DAHL, O.; KONGSVIK, T. **Safety climate and mindful safety practices in the oil and gas industry**. Journal of Safety Research, 2018.

DIAS, J. L. M.; QUAGLINO, M. A. **A questão do petróleo no Brasil – Uma história da Petrobras**. Rio de Janeiro: Editora Fundação Getúlio Vargas, CPDOC/SERINST, Petrobras; 1993. 26 p.

DO BONFIM, B. K. S.; GOMES, A. V. M. **Para além da discussão sobre atividade fim e atividade meio: a igualdade de direitos e a responsabilidade solidária como meios para a proteção do trabalhador terceirizado.** Scientia Iuris 2016 Jul;20(2):266-296, doi: 10.5433/2178-8189.2016v20n2p266

FIGUEIREDO M, Alvarez D, Athayde M, Suarez JD, Pereira R. **Reestruturação produtiva, terceirização e relações de trabalho na indústria petrolífera offshore da Bacia de Campos.** Gest Prod. 2007 Apr;14(1):55-68.

FIGUEIREDO, M. G. **Trabalho, saúde e ação sindical na atividade petrolífera offshore da Bacia de Campos.** Revista Ciências do Trabalho 2015 Jun;10(4):67-87.

FNP. Federação Nacional dos Petroleiros. **Acidente em Carmópolis mata dois trabalhadores.** Petrobrás é a responsável, 2012.

FNP. Federação Nacional dos Petroleiros. **Estatísticas da terceirização na Petrobrás,** 2015.

FUP. Federação Única de Petroleiros. **Óbitos por acidentes de trabalho típicos nos órgãos operacionais da Petrobras.** Assessoria de Imprensa da FUP, 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2012.** Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

KHAN, F. I.; ABBASI, S. A. **Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences.** Journal of Loss Prevention in the process Industries, v. 12, n. 5, p. 361-378, 1999.

KUROGI, M. S. **Qualidade de vida no trabalho e suas diversas abordagens.** Rev Ciências Gerenciais. 2015 Jan;12(16):63-76.

LEITE, R. M. S. C. **Vida e trabalho na indústria de petróleo em alto mar na bacia de Campos.** Ciência & Saúde Coletiva. 2009 dez;14(6):2181-2189.

MARTINS, L. **Diagnóstico da terceirização e sua relação com as áreas de saúde, meio ambiente e segurança na indústria petrolífera offshore na Bacia de Campos.** Niterói (RJ); Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense; 2005. 87 p.

MEARNS, K.; YULE, S. **The role of national culture in determining safety performance: Challenges for the global oil and gas industry.** Safety Sci. 2009 Jan;47(6):777-785.

MORAIS, J. M. **Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobrás na exploração e produção offshore.** Brasília: IPEA, 2013. 145 p.

OIEN, K. **Risk indicators as a tool for risk control.** Reliability Engineering & System Safety, v. 74, n. 2, p. 129-145, 2001.

OIT. Organización Internacional Del Trabajo. **Seguridad del Trabajo en Instalaciones Petrolíferas en el Mar y Asuntos Conexos.** Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo, 1993.

SOUZA, J.; TERRA, D. C. T.; CAMPOS, M. M. **O migrante na reestruturação do mercado de trabalho na zona da produção principal da Bacia de Campos.** In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Águas de Lindóia. Anais do Encontro Nacional de Estudos Populacionais. São Paulo: ABEP, c2012. p. 18.

YERGIN, D. **O Petróleo - Uma história mundial de conquistas, poder e dinheiro.** São Paulo: Editora Paz e Terra; 2010. 32 p.

A INFLUÊNCIA DA ERGONOMIA EM MELHORIAS PRODUTIVAS UTILIZANDO A EQUAÇÃO NIOSH

Emerson da Silva Moreira

Luiz Eduardo Nicolini do Patrocínio Nunes

RESUMO: As posturas são fatores que influenciam a estrutura óssea das pessoas, este estudo mostra a necessidade de uma boa postura, para o desenvolvimento de uma atividade vêm desde a antiguidade e chega aos dias atuais, exemplos de melhorias referenciado a Bernardino Ramazzini, sendo o primeiro a escrever sobre doenças ocupacionais, suas consequências para o organismo, mostrando ferramentas adequadas para cada atividade, gerando ganhos produtivos, com menores impactos para a saúde, segurança, para o corpo humano. A estrutura da coluna vertebral e o impacto quando levantamos ou movimentamos objetos, peso acima de 4 kg já é considerado elevado para a manipulação, podendo causar danos ao tecido muscular, apresenta uma ferramenta identificada como Equação de Levantamento Revisado do *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH), criado na década de 80 e revisado em 90, tendo como finalidade identificar critérios epidemiológicos, psicológicos, biomecânicos e fisiológico e encontrar condições para identificar o Limite de Peso Recomendável (LPR) para a atividade e assim identificar um Índice de Levantamento (IL) que é encontrado com a divisão da carga

pelo LPR, chegando a um valor que define o risco de lesão ao trabalhador. Apresenta uma aplicação real, a atividade inicial, seus riscos, melhorias e o aumento no limite do peso a ser movimentado e a redução do risco de lesão por parte do trabalhador. Este trabalho mostra que em uma boa análise ergonômica podemos movimentar cargas mais pesadas e com menos riscos, ampliando a produtividade, reduzindo o absenteísmo e afastamentos decorrentes deste motivo.

PALAVRAS-CHAVE: Ergonomia; Equação de Levantamento Revisado NIOSH; Doenças Ocupacionais

ABSTRACT: The postures are factors that influence bone structure of people, this study shows the need for a good posture, for the development of an activity come from ancient times and comes to the present day examples of improvements referenced Bernardino Ramazzini, the first to write about occupational diseases, their consequences for the organism, showing proper tools for each activity, generating productivity gains, with less impact to the health, safety for the human body.

The structure of the spine and the impact when we get up and we move objects weighing over 4 kg is already considered high for handling, may cause damage to muscle tissue, has an identified tool as Equation Survey Revised

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), created in the 80s and revised 90, and aims to identify epidemiological criteria, psychological, biomechanical and physiological and find conditions to identify the Recommended Weight Limit (LPR) for activity and thus identify a Survey Index (IL) which is found with the load sharing by LPR, reaching a value that defines the risk of injury to the worker. It presents a real application, the initial activity, its risks, improvements and the increase in the weight limit to be busy and reduce the risk of injury by the employee. This work shows that in a good ergonomic analysis can move heavier loads with less risk, increasing productivity, reducing absenteeism and sick leave resulting from this reason.

KEYWORDS: Ergonomics; Equation Survey Revised NIOSH; Occupational Diseases

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil tem uma das maiores incidências de acidentes do mundo, segundo dados divulgados pelo Anuário Brasileiro de Acidentes, divulgado para o período de 2013, onde ocorreram neste ano 711.164 acidentes, registrados pela previdência Social, ou seja, apenas aqueles acidentes relacionados ao trabalho ocorridos com pessoas devidamente registrado, foi identificado um grande numero de acidente, sendo este apresentado da seguinte forma: Acidente com vitima ocorreram aproximadamente a cada 1,50 minutos (um minuto e meio) e um acidente com morte a cada 3 horas (Proteção, 2013). Visando reduzir este índice, a portaria 3.214, de 8 de junho de 1978, aprovou as Normas Regulamentadoras ao trabalho, (NR) do Capitulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), onde aborda os itens referentes à Segurança e Medicina do Trabalho, atualmente encontra-se em 36 NR's, servindo como referencia para as empresas procurarem realizar melhorias mitigando e, se possível, eliminar possíveis causas que venham a propiciar acidentes nas empresas.

O desenvolvimento da humanidade sempre esteve paralelo a melhorias de produtos e processos, visando reduzir os movimentos do trabalhador e obter ganhos produtivos. Cada vez mais é verificado a importância e os impactos das atividades para o corpo humano.

Este trabalho vai abordar a (NR 17 – Ergonomia), procurando abordar fatores ergonômicos e, apresentar uma ferramenta para abordar a movimentação de levantamento de cargas, chamada Equação de Levantamento Revisado do NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Helth), visando reduzir a movimentação e atividades que requerem esforços excessivos que venham a gerar consequências temporárias ou até mesmo permanentes ao trabalhador. Esta ferramenta avalia levantamentos de carga, demanda física das atividades de levantamento manual de cargas e identificar o risco de lesões por sobrecarga, determinando o Limite de Peso Recomendada (LPR) e o Índice de Levantamento (IL) que apresentam o peso Maximo a ser manuseado pelo trabalhador e o índice de risco que a atividade pode proporcionar

riscos para a coluna do operador, com a utilização desta equação pode-se identificar e reduzir os possíveis afastamentos causados por este motivo. Concluindo, será demonstrado uma situação, onde foi analisado a situação atual de trabalho, através de análises foi apresentado sugestões para adequação do posto de trabalho, melhorias ergonômicas adaptadas a situação do trabalhador, propiciando uma baixa condição de lesão para a coluna.

2 | REFERENCIAL TEORICO

Os primeiros estudos referentes a ergonomia foram realizados por Xenofonte, 427 a 355

e serviram de base para a divisão dos trabalhos, cada trabalhador efetuou apenas uma operação para a confecção de coturnos para a armada grega (SILVA; PASCHOARELLI , 2010).

No século XV, Leonardo da Vinci desenha o Homem Vitruviano, onde apresenta uma figura masculina desnuda em duas posições sobreposta, sendo este o marco da antropometria e da biomecânica. (PAULA, et. al, 2010).

No século XVII, Bernardino Ramazzini, médico italiano, foi um dos primeiros a descrever doenças e lesões provocadas por atividades de trabalho, onde relata 54 (Cinquenta e quatro doenças ocupacionais) relacionadas as atividades e as condições de trabalho, onde o trabalhador é submetido, sendo estas as mais diversas atividades, explicando a relação entre trabalho/ambiente/doença. Tendo este estudo contribuído

com as mais diversas áreas da medicina, onde podemos citar: a Oncologia, a Oftalmologia, a Pneumologia, a Ortopedia, entorno de 50% das dermatoses ocupacionais reconhecidas, também foram identificadas por Ramazzini, porém teve seu trabalho censurado no momento que foi nos locais de trabalho de seus pacientes identificar as reais causas de suas doenças (Ramazzini, 2016).

Nas primeiras décadas do século XX, Lilian e seu marido Frank Bunker Gilbreth apresentaram sugestões para melhorar condições ergonômicas, padronizar o trabalho, estudos e movimentos. Seus projetos são utilizados inclusive fora da indústria, como nos nossos lares, podemos citar: o pedal para abrir latas de lixo, o suporte para porta ovos e a mangueira para descarga de águas residuais das máquinas de lavar (PAULA, et al, 2010).

Conforme Lida (2005), Frederick Wislow Taylor (1856 a 1915), considerava que todo o trabalho poderia ser cientificamente estabelecido, com tempos de trabalhos pré determinados, uma divisão de trabalho, ferramentas adequadas e responsabilidades na execução da atividade produtiva de forma clara.

O Taylorismo pode ser considerado negativo para alguns, sendo referência para trabalho duro e desumanizador, porém trouxe muitas inovações tais como:

- **Trabalho Padronizado:** Melhora e facilita o modo de efetivar o trabalho;
- **Tempo de Ciclo Reduzido:** Tempo que um determinado processo leva;
- **Estudo de Tempo e Movimento:** Desempenho de trabalho padronizado;
- **Medição e Análise para Melhoria:** Identificar, atuar e obter melhorias contínuas.

Toledo (2007) exemplifica os conhecimentos científicos de Taylor aplicados na Bethlehem Steel Works. O resultado destes estudos identifica que um homem poderia manipular em média uma pá carregada com 9,75 Kg. Foi disponibilizada pás de acordo com o material a ser descarregado. Depois de 3 (três) anos este trabalho era realizado por 140 homens, diferente dos 400 a 600 homens anteriores.

As idéias de Taylor, difundiram-se nos Estados Unidos, na década de 1920, os seus estudos já estavam difundidos em todos os cursos relativos às áreas produtivas, criando condições favoráveis a estudos de cronometragem e melhorias ergonômicas, contribuindo para a predominância da indústria norte americana (TOLEDO, 2007).

As idéias do Taylorismo não surgiram de um escritório ou de um ilusionista, mas dentro das fabricas realizado através de observações empíricas do trabalho baseado em conhecimentos científicos, relacionados com a fisiologia do trabalho (LIDA, 2005).

Sabemos, que a baixa produtividade não esta ligada a vadiagem dos trabalhadores e os acidentes de trabalho a negligência, como atribuía Taylor. Muitos dos fatores ligados a projeto de máquinas e equipamentos, ambiente de trabalho, ambiente físico, além dos acidentes não acontecem de forma simples, mas devido a diversos fatores pré-existentes (LIDA, 2005).

2.1 Definições Referentes a Ergonomia

O Polonês W. Jastrzebowski utilizou em 1857, pela 1^o vez o sinônimo ergonomia, onde publicou um artigo intitulado “Ensaio da ergonomia ou ciência do trabalho baseado nas leis objetivas da ciência da natureza” (NETO, 2010). A ergonomia deriva das palavras gregas, *ergo*, (trabalho) e *nomos* (regra), já nos Estados Unidos também é utilizado o termo *human factors* (fatores humanos) (DUL; WENERMEEESTER, 2014).

A ergonomia tem como objetivo a melhoria do desempenho do sistema produtivo, focando na redução da fadiga, *estress*, erros e acidente, proporcionando uma maior sensação de segurança, satisfação e saúde em sua atividade de trabalho (LIDA, 2005).

Trabalho físico pesado, posturas incorretas, pouco treinamento ou inadequado, trabalho noturno, repetitivo, excessivo, mobiliário mal projetado, ambiente de trabalho desconfortável (seco, frio, quente, pouco iluminado, barulhento, apertado), dentre outros são fatores que influenciam riscos ergonômicos (NETO, 2010).

A análise ergonômica é condição obrigatória, porém por falta de uma fiscalização efetiva por parte do Ministério do Trabalho, um grande numero de trabalhadores acaba adoecendo, humilhados, sofrendo descaso e como não se bastasse as lesões físicas,

esta situação pode gerar efeitos emocionais que são lentamente agredidos, causando feridas silenciosas, dificultando e muitas vezes tornando a sua cura quase impossível.

2.2 Objetivos da Ergonomia

Para Machado (2013), vários são os objetivos da ergonomia, onde *erg.* (trabalho), ou seja a ergonomia não é um fim, mas um meio, que deve ser visto, para o bem estar do trabalhador, desta forma, vários são os objetivos da ergonomia, ao qual podemos destacar:

- Redução nos Índices de Acidentes;
- Sensível redução dos Custos referente a incapacidade dos trabalhadores;
- Melhoria nos Níveis de Produção;
- Melhoria na Qualidade do Trabalho;
- Redução do Absenteísmo;
- Cumprimento das Normas Regulamentadoras;
- Redução de Perdas de Matéria-Prima.

A ergonomia pode ser um fator principal para a solução de inúmeros problemas, como: sociais com a saúde, relação segurança, conforto no comprimento das tarefas, além da eficiência no trabalho. Muitos acidentes ocorrem quando o funcionário tem como referência o relacionamento inadequado entre os operadores, seus equipamentos e suas tarefas, desta forma podemos perceber um caráter preventivo e corretivo da ergonomia. Ainda segundo Machado (2013), existem algumas vantagens ao se investir em ergonomia, em especial nos programas relacionados à ergonomia:

Para os Funcionários: Redução no desconforto, físico e da fadiga, reduzindo a irritabilidade do trabalhador; Reduzindo gastos energéticos, proporcionando uma redução do estresse ocupacional; Maior equilíbrio emocional; Redução de doenças; Melhor qualidade de vida e em consequência uma ampliação na eficiência do trabalho.

Para as Empresas: Redução nos gastos com assistência médica; Diminuição de absenteísmo e acidentes; Maior proteção legal contra possíveis ações judiciais, Melhoria na qualidade e produtividade; Melhora no ambiente do trabalho, propiciando uma boa imagem da empresa.

Para Lida (2005), A ergonomia centra-se na interação do ser humano com formas de trabalho e em diversos fatores que produzem uma influência sobre essas interações, propiciando eficiência, reduzindo a fadiga, *stress*, erros e acidentes, segurança, satisfação e saúde aos trabalhadores, sendo apontados quatro objetivos principais:

Saúde: É mantida quando a exigência da atividade e do seu ambiente não ultrapasse as limitações energéticas e cognitivas, evitando situações de *stress*, riscos de acidentes e doenças ocupacionais;

Segurança: É obtida através de projetos bem elaborados dos locais de trabalho, ambiente e organização, que atendam as capacidades e limitações do trabalhador.

Satisfação: É o resultado do atendimento das necessidades e as expectativas do trabalhador, porém, pode variar conforme a cultura e diferenças individuais, necessidades e expectativas de cada um. Trabalhadores satisfeitos provocam um comportamento mais seguro, além de serem mais produtivos que aqueles insatisfeitos;

Eficiência: É a consequência de um bom planejamento e organização do trabalho, proporcionando saúde, segurança e satisfação ao trabalhador, este item deve ser colocado dentro de certos limites, pois pode prejudicar a garantia dos três objetivos iniciais, já que o aumento indiscriminado da eficiência pode implicar em prejuízos a saúde e segurança do trabalhador.

2.3 Informações Estatísticas

A segurança no trabalho no Brasil é um ponto onde devemos nos atentar, pois no período de 2011, ocorreu a cada 3 horas 1 (uma) morte motivada por riscos decorrentes dos fatores ambientais do trabalho e próximo de 81 acidentes e doenças do trabalho reconhecidas a cada hora na jornada diária, neste período foi relatado em média cerca de

49 trabalhadores/dia que não retornam ao trabalho devido à invalidez ou morte. (BRASIL, Previdência, 2016)

A dor na região lombar é um dos principais motivos de afastamento por atividades profissionais em longos períodos (acima de 15 dias), é a segunda causa de afastamento para períodos curtos. Durante a vida, aproximadamente 80% das pessoas apresentam em algum tipo de dor lombar provocados por atividades de levantamento manual de cargas, esta no topo do ranking dos problemas de saúde gerados no emprego países industrializados, contribuindo com cerca de 30% de todos os afastamentos do trabalho por doenças e representa 50% do total de custos diretos relacionados a esses afastamentos. Aproximadamente a metade dessas pessoas apresenta dor irradiada para os membros inferiores e cerca de 5% dores ciáticas (TEIXEIRA, 2011).

A movimentação e levantamento de cargas são responsáveis por grande parte das lesões musculares entre trabalhadores. Aproximadamente 60% dos problemas musculares são referentes a levantamento de cargas e 20% a atividade de puxar ou empurrar (DUL; WENERMEEESTER, 2014).

A coluna vertebral possui uma estrutura que serve de sustentação para o corpo humano, permitindo grande movimentação e está sujeito a lesões provocadas por agentes que venham a causar incapacidade temporária ou permanente. A estrutura anatômica da coluna, normalmente consiste em 33 vértebras, sendo dividida da seguinte forma: 7 Cervical, 12 Torácicas, 5 Lombares, 5 Sacrais e 4 Coccígeneas. Nos primeiros 24 ossos vertebrais são separados por discos intervertebrais fibrocartilaginosos, que servem como um amortecedor, os ossos do sacro e cóccix

estão fundidos entre si. Segundo (Wirher, 1986), o levantamento de objetos pesados provoca uma pressão elevada no disco pulposo, podendo romper o anel fibroso que serve como um amortecedor para as vértebras da coluna cervical.

Para levantar um objeto devemos posicionar de forma que o braço externo da alavanca seja o menor possível. A figura abaixo demonstra o efeito de uma postura para levantar uma carga, onde o troco (40 Kg) + a carga (10 Kg), equivalem a 500 N. a musculatura dorsal, estando na posição correta (a), atua aproximadamente 5cm da coluna vertebral L3. A alavanca externa corresponderá a 20 cm, contra 30 cm na posição erradas (b).

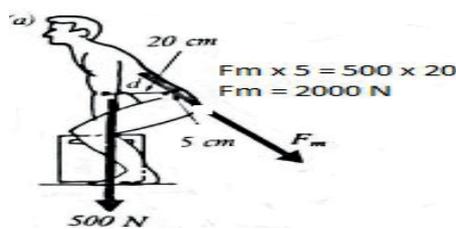


Figura 1: Momento das forças posição correta

Fonte: Wirher, 1986

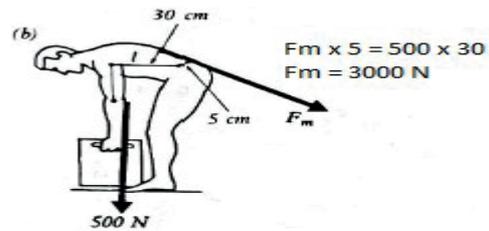


Figura 2: Momento das forças posição incorreta

Fonte: Wirher, 1986

Quando levantamos uma carga de 10 kg, sentado, a pressão que os músculos exercem sobre o disco intervertebral é maior, pois a distancia da alavanca do braço de apoio fica a 40 cm longe da coluna cervical, conforme apresentado na figura abaixo. O efeito compressor da musculatura dorsal pode reduzir em aproximadamente 40% a pressão sobre os discos intervertebrais.

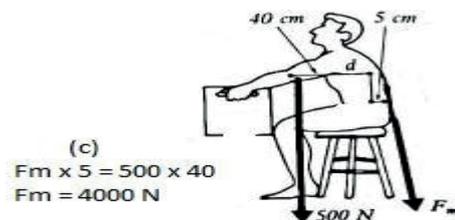


Figura 3: Momento das forças sentado

Fonte: Wirher, 1986

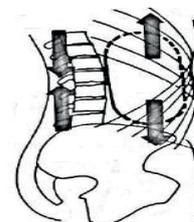


Figura 4: Compressão abdominal

Fonte: Wirher, 1986

Além da necessidade da musculatura abdominal fortalecida, também existe a obrigação de músculos fortes nos membros inferiores, para que possam suspender e suportar pesos na posição correta, ou seja com os joelhos flexionados. Quando dividimos o peso de uma carga de forma simétrica, carregando com as duas mãos, esta carga será significativamente menor do que se for levantada com apenas uma mão.

A figura abaixo demonstra esta diferença, onde, em um levantamento simétrico o corpo pesa 40 Kg acima da vértebra L3. A sobrecarga é de 30 Kg, sendo este dividido em dois totalizando 15 Kg para cada braço da alavanca dos músculos do dorso, a

flexão lateral é de 5 cm.

No Levantamento assimétrico uma carga de 30 Kg é levantada por apenas uma das mãos, assim o centro de gravidade do corpo é alterado, nesta situação podemos atribuir 10 cm ao lado da L3, os músculos do dorso precisam estar contraídos para suportar esta carga que é maior em relação a postura simétrica.



Figura 5: Levantamento Simétrico de Carga

Fonte: Winher, 1986



Figura 6: Levantamento Assimétrico de Carga

Fonte: Winher, 1986

Algumas posturas podem ser consideradas mais adequadas para cada tipo de atividade, porém existem alguns projetos inadequados de máquinas, assentos, etc., pois obrigam o trabalhador a atuar em uma postura inadequada, podendo provocar fortes dores no conjunto muscular solicitado para a conservação desta postura. Toda postura pode ocasionar a sobrecarga estática sobre os músculos e outros tecidos, podendo causar dores e desconforto, nenhuma postura é neutra, e nenhuma postura inadequada é adotada de forma condicional, mas é resultado de um conjunto de fatores. A tabela abaixo demonstra a localização das dores provocadas por posturas inadequadas e os riscos destas dores para o corpo humano (LIDA, 2005).

Postura Inadequada	Riscos de Dores
Em pé	Pés e Pernas (Varizes)
Sentado se encosto	Músculos Extensores do Dorso
Assento Muito Alto	Parte Inferior das pernas, joelho e pés
Assento muito Baixo	Dorso e Pescoço
Braços Esticados	Ombros e Braços
Pegas Inadequadas em ferramentas	Antebraço
Punhos em posições não-neutras	Punhos
Rotações do Corpo	Coluna Vertebral
Ângulos Inadequados assento/encosto	Músculos Dorsais
Superfície muito baixa ou muito alta	Coluna Vertebral, cintura escapular

Tabela 1: Postura Inadequada e os Riscos de Dores Fonte: LIDA, 2005

Mussashi (2004) faz uma grande comparação entre a ergonomia e o treinamento dos guerreiros Ninjas no período do Japão Imperial, onde ele comenta que o guerreiro deve ter uma boa base nos pés e no quadril, desta forma proporcionando movimentos rápidos e seguros, os movimentos dos braços de defesa e ataque devem ser curtos, pequenos, rápidos e precisos para que o guerreiro seja eficaz na sua batalha, mas que

não fique cansado após concluir sua jornada.

Quando levantamos uma carga afastada do centro de gravidade, aumenta a pressão sobre os discos e vértebras da coluna na região lombar o que pode ter um grande potencial de lesão. Pesos acima de 4 Kg são considerados elevados para manipulação, mas a utilização de força de forma rápida pode também provocar danos ao tecido muscular. (RODRIGUES, 2011).

Para realizar atividades físicas, nosso corpo atua com diversos tipos de alavancas, tendo em vista que apresentam grandes desvantagens biomecânicas, o que pode ampliar os riscos das articulações do ombro e principalmente do cotovelo. Para Rodrigues (2011). A avaliação da nocividade do fator forças em nosso organismo depende:

Da posição do objeto a ser utilizado proporcional ao corpo; Do angulo e tamanho dos braços na realização da alavanca; Do tempo e do tipo de contração;

Da freqüência na realização dos movimentos;

Da forma da ferramenta ou do objeto a ser trabalhado; Do uso de luvas ou de ferramentas com vibratórias;

Das posturas e pegas.

2.4 Lesão do Esforço Repetitivo (Ler) / Doença Osteotculares Relacinas ao Trabalho (Dort)

A ocorrência de LER/DORT vem crescendo de maneira temerosa, a expansão desta síndrome apresenta características de uma verdadeira epidemia, mesmo quando nos referimos apenas aos dados oficiais da previdência social de pessoas com vínculo empregatício regidas pela CLT, não sendo registradas as ocorrências de pessoas autônomas (NETO, 2010).

A coluna vertebral do ser humano é considerado um dos pontos mais fracos do organismo, como é uma peça delicada e importante para a locomoção do ser humano, esta sujeito a inúmeras deformações, que podem ser de causas congênitas (nascimento) ou adquiridas durante algum momento da vida, podemos, abordar a má postura no trabalho, provocados pelo esforço na execução da atividade, a repetição de movimentos, infecções entre outras (LIDA, 2005).

O primeiro sinal de alerta fica evidente através da fadiga muscular onde apresenta sinais como redução de capacidade muscular dentre outras. Nos casos mais críticos pode ocorrer dor severa localizada, gerando inclusive afastamento temporário ou permanente (LIDA, 2005).

As lesões ocupacionais prejudicam a saúde física e mental, proporcionando uma sensível redução na sua capacidade funcional, interferindo diretamente na produtividade e resultando na queda da qualidade de vida do trabalhador. Para (Saad, 2008), são cinco motivos aos quais os DORT têm aumentado em todo mundo nas ultimas décadas:

Pelo desequilíbrio entre as metas e a possibilidade de cumprimento do trabalho;
Pela quase total anulação dos mecanismos de regulamentação;

Pelo trabalho cada vez mais complexo realizado pelos trabalhadores; Pela realidade social que favorece as lesões;

Pela intensidade dos fatores biomecânicos da tarefa.

A intenção de prevenir as LER/DORT, envolve todos, sem exceção, sendo indispensável à informação sobre os elementos da situação de trabalho, incluindo formas de identificação dos fatores de riscos de doenças osteomusculares, a avaliação de risco, os processos de gestão e as formas de prevenção destes (RODRIGUES, 2011).

3 | TRABALHO MUSCULAR

A utilização do trabalho muscular pode ser dividida em dois grupos: O trabalho muscular estático é aquele que não possui movimentos articulares, assim não produz contrações isométricas, O trabalho muscular dinâmico caracteriza-se pela alternância de contração e extensão, funcionando como uma bomba hidráulica, ativando a circulação, porém o trabalho muscular dinâmico é repetitivo, sem análise e sem ferramentas adequadas podendo ser extremamente desgastante à saúde quando realizado por um longo período (LIDA, 2005).

Para Lida (2005), o sistema muscular demanda de um equilíbrio na quantidade de oxigênio, fornecido pelo corpo ao realizar uma atividade física. Uma recomendação, antes da realização de qualquer atividade física de maior intensidade consiste na realização de um pré-aquecimento muscular que dever ser realizado com uma duração aproximada de 3 minutos, reduzindo a probabilidade de haver um desequilíbrio na musculatura do corpo.

3.1 Levantamento e Manuseio de Cargas

Muitos traumas musculares ocorrem no manuseio de cargas. Muitos traumas ocorrem devido à variação das capacidades físicas, treinamentos insuficientes substituição sem uma previa análise das tarefas dos trabalhadores homens realizados por mulheres (LIDA, 2005).

Para a Suíça (2004), após um estudo sobre ergonomia a OIT, fez algumas sugestões aos quais os trabalhadores devem realizar movimentações que não prejudiquem a sua estrutura musculoesquelética, conforme sugerido abaixo:

Ao levantar cargas, mantenha-a próximo ao corpo;

Levante-a com as duas mãos, mantenha a simetria do corpo e em posição vertical; Mantenha sempre a carga o mais próximo possível do corpo;

Ao levantar a carga mantenha o tronco reto, agachando e Levantando; Evite manipular materiais pesados em posturas prejudiciais;

Para levantar e transportar cargas pesadas utilize sempre que possível, guas, elevadores, carretilhas, elevadores moveis ou dispositivos similares;

Solicite ajuda de outra pessoa para manipular materiais pesados e/ou volumosos.

Os efeitos da carga sobre o trabalhador são inúmeros. Muitas posturas exigem torções de tronco, o efeito é o tensionamento dos discos existentes entre as vértebras, a carga assimétrica também exige das articulações e músculos posicionados nos dois lados da coluna, posturas prolongadas e movimentos repetitivos por tempo prolongado, são condições que podem causar lesões localizadas provocadas principalmente pela fadiga muscular (AGAHNEJAD, 2014).

A torção do tronco é lesiva para as estruturas da coluna vertebral e tem efeito cumulativo, tanto no sentido de causa como de agravar uma ampla gama de distúrbios (SAAD, 2008).

Quando o trabalhador permanece em pé por períodos longos, utiliza todos os músculos do corpo. Com base nestes pontos é verificado que é altamente recomendável um local de trabalho onde o trabalhador possa alternar o seu trabalho em um período sentado e outro em pé (DUL; WENERMEEESTER, 2014).

Lida (2005), demonstra os princípios de economia de movimentos, onde são apresentados os pontos onde devemos procurar nos atentar ao corpo e assim projetar um posto de trabalho ideal e que venha a gerar pouco ou nenhum impacto ao operador e apresenta os pontos que causam influencia sobre o uso do Corpo Humano:

- As mãos devem iniciar e concluir os movimentos ao mesmo instante.
- As mãos não devem ficar paradas ao mesmo tempo.
- Os Braços devem mover-se em direções opostas e na mesma proporção.
- Deve-se utilizar movimentos manuais simples.
- Deve-se usar os movimentos (massa x velocidade) a favor do esforço muscular.
- Deve-se realizar movimentos suaves, evitando mudanças bruscas de direção.
- Movimentos terminando em anteparos são mais fáceis e precisos que os movimentos “controlados”.
- O trabalho deve ser realizado em uma ordem compatível com o ritmo natural do corpo.
- Os acompanhamentos visuais devem ser reduzidos.

4 | FERRAMENTAS ERGONÔMICAS

Os profissionais de ergonomia deparam com situações onde é necessário

“quantificar” uma situação de trabalho analisada, onde podemos citar a quantificação do levantamento manual de cargas, que ainda nos dias de hoje é uma das maiores causas de disfunções músculo esqueléticas nos trabalhadores. (PEGATIN, 2008).

Para facilitar a necessidade de melhoria na movimentação e levantamento de cargas, foi criada a Equação de Levantamento Revisada do National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), esta ferramenta é utilizada em diversos países. Sendo concebida para mensurar a demanda física e estimar o risco de lesões por sobrecarga e lombalgia (TEIXEIRA, 2011).

4.1 Ferramentas de Aplicação Niosh

Esta ferramenta surgiu na década de 80, devido a grande preocupação do governo dos Estados Unidos quanto a preocupação com as doenças músculo-esquelético, vários pesquisadores reuniram-se para formular um método de prevenção sólido sobre o assunto, priorizando a promoção da saúde e o combate as doenças do povo norte americano. Devendo contar com quatro critérios básicos, sendo:

Epidemiológico: Estudo das doenças provocado pelo movimento de levantamento de cargas, e assim, identificar a causa-efeito ou causa-doença e encontrar condições para reduzir e se possível eliminar possíveis doença ao trabalhador;

Psicológico: Estuda o comportamento em determinada situação, a obrigação em realizar algumas tarefas pode agravada problemas relativos à ergonomia no trabalho;

Biomecânico: Estuda a estrutura dos sistemas biológicos, envolvendo conceitos, métodos e leis da mecânica que influenciam o corpo humano;

Fisiológico: Estuda as funções do organismo, verificar o desgaste do operador e do organismo com relação à atividade física do local de trabalho. (LIDA, 2005)

A primeira fórmula foi criada em 1981, mas era limitada, tendo a altura vertical de 75 cm com relação ao chão e uma distância horizontal de 15 cm desde o ponto médio entre os joelhos. Em 1991 alguns valores foram revisados e outras variáveis foram acrescentadas, continuou a utilizar 75 cm para a altura vertical, a distância horizontal foi alterada de 15 cm para 25 cm. Na equação inicial a constante de peso era 40 Kg, sendo alterado para 23 Kg, representando o peso máximo recomendável para a elevação de carga. A redução do peso ocorreu devido o aumento da distância horizontal de 15 para

25 cm, esta equação tornou-se aceitável para 90% das mulheres e dos Homens saudáveis. Em condições ideais, este peso resultaria em uma compressão discal menor que 3,4 Kn, tornando mais ampla a sua aplicação, considerando tarefas de elevação não simétrica, aplicável nas diversas condições de pega da carga e contemplar maior abrangência na frequência das elevações e na duração do trabalho (WATERS, 1994).

4.2 Condições para Aplicação

Na aplicação dos cálculos NIOSH, são estipuladas algumas condições para aplicação: As elevações devem ser feitas de forma suave, sem movimentos Bruscos;

Condições Térmicas e visuais adequadas;

Boas condições mecânicas – piso sem obstruções e planos oferecendo boa aderência ao calçado.

Para este cálculo, alguns itens não são aplicáveis:

Em tarefas onde é utilizado elevações com apenas uma das mãos, na posição de sentado, agachado, ou em espaço confinado que obriguem uma postura desfavorável;

Não contemplam a elevação com objeto muito quente ou frio;

Coeficiente de fricção estático, de no mínimo, 0,4 das superfícies de contato com o solo; Não inclui circunstâncias inesperadas;

Atividades de abaixar e levantar pesos têm o mesmo potencial para causar lesões Lombares;

Condições ambientais desfavoráveis (temperatura fora dos padrões de 19 a 26°C e umidade relativa, entre 35 a 50%).

Não incluída tarefas que resultem elevações rápidas (>15 elev./min.) (WATERS, 1994)

Após vários estudos foi definido a seguinte fórmula:

$$LPR = 23 \times FDH \times FAV \times FDVP \times FFL \times FRLT \times FQPC$$

Segue os seguintes parâmetros:

LPR= Limite de Peso Recomendado;

23 = Valor constante é definido e pode ser manuseado sem risco particular para o operador;

FDH= Fator de Distância Horizontal em Relação à Carga; **FAV**= Fator de Altura Vertical em Relação ao Solo; **FRLT**= Fator de Rotação Lateral do Tronco;

FFL= Fator Frequência de Levantamento;

Pega de Carga= Definição (Ótima, Boa ou Ruim)

A avaliação da equação de Levantamento do método NIOSH, deve ter os dados verificados para que não haja diferença nos valores, pois os erros de medição de cada variável afeta o Limite de Peso Recomendado (LPR), de diferentes formas, onde um erro de diferença de 10 cm na distância horizontal pode significar um erro de 30% no LPR, porém um erro de 10 cm na distancia vertical, resulta em no máximo 3% de erro no valor do LPR. Um erro de 10 graus na definição do ângulo de assimetria resulta em no máximo 3,2% do LPR. Um erro na definição da duração pode afetar em até 40% do LPR. A qualidade da pega resulta em um erro máximo de 10% do LPR (TEIXEIRA, 2011).

Temos o Índice de Levantamento (IL), que determina se a atividade apresenta

risco de lesão músculo esquelética. Muitos imaginam que o coeficiente constante 23 da fórmula é o peso ideal, sendo ampla e erroneamente difundido, sendo o IL, que é obtido dividindo o peso da carga com o resultado do LPR. (SILVA, 2014).

Conforme Teixeira (2011) Calculado o LPR, em quilogramas para uma tarefa específica, onde ela é comparada o (PC), Peso da Carga real levantada. Essa relação entre a carga levantada e o LPR, Limite de Peso Recomendado, fornece o Índice de Levantamento, IL, onde representa uma estimativa do *stress* físico associado a tarefas a ser avaliadas, como na equação abaixo:

$$IL = PC/LPR$$

Situações obtidas:

IL menor que 1,0	> Condição Segura	Chance mínima de Lesão;
IL entre 1,0 e 2,0	> Condição Intermediária	Médio Risco de Lesão;
IL acima de 2,0	> Condição Insegura	Alto Risco de Lesão.

5 | MÉTODOS

A metodologia aplicada define de forma descritiva, tendo como objetivo principal identificar as características, envolvendo a observação e análise, podendo ser classificada quanto a característica tendo como base fundamental o uso do estudo de caso (TRALDI, 2011).

5.1 Procedimentos:

a) Embasamento Teórico:

- Extraída através da pesquisa bibliográfica;
- Análise comparativa de obras e teoria existente;

b) Estudo de Caso:

- Comparar teoria a prática em um estudo de um caso real;
- Bibliográfica/Documental, sendo estudados livros, normas, artigos, leis etc. Sendo alicerce a abordagem da ergonomia e assim promover a quebra de paradigmas referentes à sua utilização.

Numa 2ª fase será exploratória/descritiva, abordará um estudo de caso e demonstrar de forma prática, ganhos ergonômicos obtidos para os operadores e redução de possíveis afastamentos ou acidentes permanentes.

5.2 Método

Realizado em uma indústria, onde foi identificada uma grande ocorrência de reclamações dos operadores com relação a dores na região lombar.

O estudo baseou-se na movimentação de caixas de produto prontos e embalado,

proporcionando a movimentação da mesa do operador para o carro de transporte, sendo realizada a cada 1,5 minutos totalizando 40 caixas/hora e cada caixa pesa 20 kg.

Definido algumas etapas e assim identificado algumas melhorias, visando melhorar o LPR e a redução do IL, proporcionando maior conforto e menor desgaste ao operador, reduzindo a fadiga e, obtendo ganhos expressivos na sua produtividade.

6 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a realização do trabalho e com um menor desgaste físico ao operador, reduzindo a fadiga, o absenteísmo e, em contrapartida, obtendo ganhos na sua produtividade. As medições de LPR e IL foram realizadas com base, primeiramente, na origem inicial da carga, ou seja, no ponto onde o trabalhador pega a caixa, definido como origem e posteriormente a medição do destino, com base na distância de movimentação da carga até o ponto de repouso da caixa, sendo obtido os pontos médios da atividade, assim como o valores do índice de Levantamento (IL).

Na atividade em questão, foram definidas as atividades em 3 etapas, onde foram verificadas as atividades para melhorias, sendo elas apresenta na figura 7:

- 1 - Realizar a identificação do LPR e IL na condição atual, ou seja, como o operador trabalha;
- 2 - Iniciado o revezamento a cada hora de trabalho, alternando as atividades e melhorando o distanciamento de pega da caixa no sentido horizontal.
- 3 - Utilizar um carrinho plataforma reduzindo a movimentação do tronco na posição vertical.

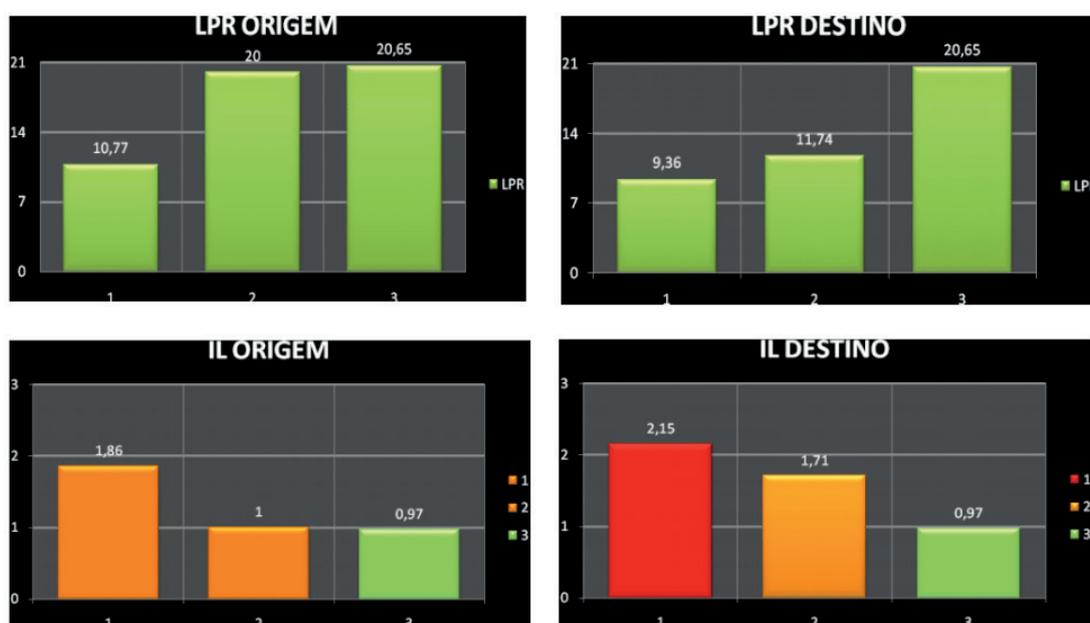


Figura 7: Graficos LPR e IL Origem e Destino

Fonte: Autor

Após verificar e realização de todas as etapas programadas chegou-se as seguintes conclusões:

A empresa obteve melhorias significativas nas atividades dos trabalhadores.

Redução dos índices que apresentam as possibilidades de lesão, saindo de uma alta situação de lesão e chegando a uma condição mínima de lesão.

Quebra de paradigmas, pois muitos engenheiros, trabalhadores e empresários, acreditam que a única solução para melhoria ergonomia é apenas o revezamento das atividades de trabalho.

Após a verificação o LPR e o IL, foi realizado um comparativo em termos de melhorias e os ganhos em termos percentuais, tanto na origem quanto no destino, chegando valores demonstrados na Figura 8:

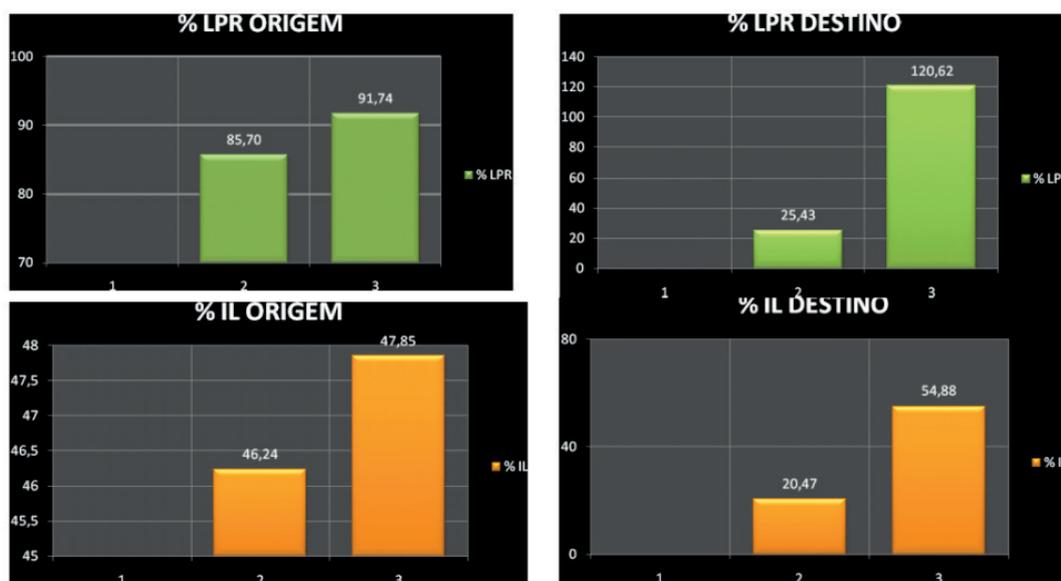


Figura 8: Gráficos de Porcentagem do LPR e IL da Origem e Destino

Fonte: Autor

7 | CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a utilização do cálculo da equação elevação revisado do NIOSH, os ganhos são diretamente proporcional tanto para os trabalhadores quanto para os empregadores.

Para os trabalhadores apresenta a redução da fadiga do trabalho, reduzindo de forma substancial o *stress* no trabalho e a sobrecarga para a realização da atividade em questão.

Para o empregador apresenta ganhos significativos, já que o trabalhador terá uma redução na possibilidade de ocorrer algum tipo de trauma ou lesão e conseqüentemente, redução de faltas e afastamento no trabalho, indiretamente ocorrerá ganhos de produtividade, um melhor planejamento do controle da produtividade e da entrega dos produtos prontos para o cliente.

Para os órgãos governamentais são obtidos ganhos, pois serão reduzidos os afastamentos e os gastos com despesas para tratamentos e indenizações por sequelas

decorrentes de locais de trabalho mal planejado.

Este cálculo poderia ser difundido em todas as empresas, desde as micro até as multinacionais, passando pelos órgãos públicos, porém ele é aplicado apenas em grandes empresas ou multinacionais, mas se fosse melhor divulgado os seus benefícios, proporcionariam ganhos expressivos para toda a sociedade.

REFERÊNCIAS

AGAHNEJAD, Payman; LEITE, Jandecy Cabral; OLIVEIRA, Roberto Celio Limao de. **Análise Educação Utilizando o Método NIOSH – Um Estudo de Caso no Polo Industrial de Manaus**, *INOVAE, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 100-118, mai./ago., 2014.*

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Estatísticas de afastamento do trabalho.**

Visualizado em www.previdencia.gov.br/estatisticas/; dados retirados em 20/05/2016. DUL Jan; WENERMEEESTER Bernard. **Ergonomia Prática**. 3^o Edição Revista e Ampliada. São Paulo, Blucher, 2014.

LIDA, Itirio. **Ergonomia Projeto e Produção**. 2edição. São Paulo, Blucher, 2005 MACHADO, Luciano Ferreira. **Desenvolvimento de um Programa Melhoria Ergonômica em uma Planta de Produção de Papel Higiênico**. Dissertação de Mestrado, Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes, 2013.

MUSASHI, Miamoto. **O Livro dos 5 Anéis**. 6. Ed. São Paulo. Madras, 2004. NETO Edgar Martins. **Apostila de Ergonomia**, São Paulo, Edgar, 2010.

PAULA, Adma Jussara Fonseca de; SEMENSATO, Cassiana Brosque; SILVA, José Carlos Plácido da; CARNEIRO, Luciane do Prado; PASCOARELLI, Luis Carlos. **Engenheiros Precursores da Ergonomia e suas Contribuições**, Vol. 02, N 04, São Paulo, Abril, 2010, visualizado em 22/06/2014, em www.ingepro.com.br

PEGATIN, Thiago. **Ferramentas Manuais – Niosh**. Artigo publicado em 01/04/2008, www.topergonomia.wordpress.com. Visualizado em 20/12/2014

PROTEÇÃO, Revista; **Anuário Brasileiro de Proteção**, Brasil, 2013, Visualizado no site http://www.protecao.com.br/materias/anuario_brasileiro_de_p_r_o_t_e_c_a_o_2013/estatisticas_de_acidentes_brasil/J9y4Jj, em 22/03/2016

RAMAZZINI, Bernadino. **As Doenças Ocupacionais**, 4^o Edição, São Paulo, Fundacentro, 2016. Tradução Dr. Raimundo Estrêla.

RODRIGUES, Emilie Andrade, **Avaliação da Exposição Ocupacional Ambiental e Biomecânica na Área das Carroçarias numa Fábrica da Indústria Automóvel**, Dissertação mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Faculdade de Motricidade Humana, Portugal, 2011.

SAAD, Viviane Leão, **ANÁLISE ERGONÔMICA DO TRABALHO DO PEDREIRO: O ASSENTAMENTO DE TIJOLOS**, Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa, Brasil, 2008.

SILVA, José Carlos Plácido da e PASCHOARELLI Luiz Carlos. **Evolução Histórica da Ergonomia no Mundo e seus Pioneiros**. 1 Edição. São Paulo, cultura acadêmica, 2010.

SILVA, Sergio Augusto Machado de Carvalho. **Ergonomia, curso, Niosh**. Visualizado no site www.drsergio.com.br em 27/07/2014.

SUÍÇA, Organização Mundial de La Salud, **Prevenção de transtornos musculoesqueléticos em el lugar de trabajo**. Ginebra, 2004.

TEIXEIRA, Eliana Remor. **Lombalgia Relacionada ao Trabalho. Aplicação da Equação de Levantamento do NIOSH**. 1ª edição. Curitiba, Juruá Editora, 2011.

TOLEDO Jr., I. Fides Bueno de. **Tempos & Métodos**. 11^o Ed., São Paulo: Itys Fides, 2007.

TRALDI Maria C; DIAS Reinaldo. **Monografia Passo a Passo**. Edição Especial. Campinas, Alínea e Anhanguera (PLT), 2011.

WATERS, Thomas R; PUTZ-ANDERSON, Vern; GARG, Arun, **Applications manual for the Revised NIOSH Lifting Equation**, Departmente of Helth and Human Services, Ohio, 1994.

WIRHED, Rolf, **Atlas de Anatomia do Movimento**, 1^o Edição, São Paulo, Manole, 1986.

SIMULAÇÃO DA ONDA COMPRESSIONAL APLICADO EM MODELOS DIGITAIS DE ROCHAS

Gracimário Bezerra da Silva

Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (Mestrado)
João Pessoa – PB

José Agnelo Soares

Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Mineração e Geologia
Campina Grande – PB

Leopoldo Oswaldo Alcázar Rojas

Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (Mestrado)
João Pessoa – PB

RESUMO: A caracterização das propriedades petrofísicas das rochas e o estudo de suas propriedades elásticas são de extrema importância na análise de reservatórios petrolíferos. Imagens microtomográficas permitem gerar modelos digitais de rochas os quais têm possibilitado a avaliação dessas propriedades das rochas. Através de modelos digitais de rochas, determinou-se a velocidade da onda compressional no meio rochoso de uma amostra de rocha carbonáticas, extraída de um afloramento da Bacia do Araripe, mediante a utilização dos softwares *Avizo Fire 8.1* e *Comsol Multiphysics*. O objetivo deste trabalho consiste em determinar a velocidade

da propagação da onda P em uma amostra de rocha carbonática que pode ser caracterizado como um reservatório de petróleo, a partir de imagens microtomográficas já disponíveis, utilizando simulação numérica, e comparar com o valor estimado experimentalmente. Através do *Comsol Multiphysics* foi feito o estudo sobre a propagação da onda P no meio rochoso. Por fim, os resultados obtidos foram discutidos e analisados.

PALAVRAS-CHAVE: Microtomografia de raios-x, petrofísica, onda compressional.

ABSTRACT: The characterization of the petrophysical properties of the rocks and the study of their elastic properties are of extreme importance in the analysis of oil reservoirs. Microtomographic images allow the generation of digital rock models which have enabled the evaluation of these rock properties. By means of digital rock models, the velocity of the compressional wave in the rocky medium of a sample of carbonaceous rock extracted from an outcrop of the Araripe Basin was determined using the software *Avizo Fire 8.1* and *Comsol Multiphysics*. Thus, the objective of this work is to determine the velocity of the propagation of the P wave in a sample of carbonate rock that can be characterized as an oil reservoir, from microtomographic images already available, using numerical simulation, and compare it with

the estimated experimental value. Through the Comsol Multiphysics the study on the propagation of the P wave in the rocky medium was made. Finally, the results obtained were discussed and analyzed.

KEYWORDS: Microtomography of x-rays, petrophysics, compressional wave.

1 | INTRODUÇÃO

A descoberta de um reservatório de petróleo é possível após um dispendioso estudo e análise de dados geofísicos e geológicos de uma bacia sedimentar. Na indústria de petróleo faz-se o uso do método sísmico de reflexão, sendo este, um método de prospecção (mais utilizado) que fornece alta definição das feições geológicas de superfícies propícias a acumulação de hidrocarbonetos, a um custo relativamente baixo (Thomas, 2004).

O levantamento sísmico se dá através da geração de ondas sísmicas (vibrações) por meio de fontes artificiais, que se propagam através do meio rochoso. Essas ondas são refletidas e refratadas de acordo com a presença de diferentes constituições petrofísicas (Thomas, 2004). Parte da energia onda emitida é refratada passando para cama inferior, enquanto parte da energia dessa onda é refletida, retornando à superfície. Ao chegar à superfície, as reflexões dos pulsos de ondas são captadas por determinados equipamentos de registro, denominados receptores (sensores) que podem ser geofones ou hidrofones. No caso em que o levantamento sísmico ocorre em terra, utiliza-se geofones que se tratam de receptores eletromagnéticos. Por outro lado, quando o levantamento sísmico é em água, são utilizados os hidrofones, sendo estes, receptores de pressão.

De acordo com Figueiredo (2007), a porção de energia refletida é proporcional à diferença de impedância acústica entre os dois meios.

As ondas elásticas por ser de dois tipos: ondas de cisalhamento (Ondas S) e ondas compressoriais (Ondas P). As ondas P propagam-se em todos os meios (sólidos, líquidos ou gasosos). São ondas de compressão porque comprimem e distendem as rochas, alterando o seu volume e são ondas longitudinais que fazem a rocha vibrar paralelamente na direção da onda (DIAS et al., 2014). A velocidade de propagação deste tipo de onda varia com o meio em que se propaga, sendo adotados os seguintes valores: 330 m/s no ar, 1450 m/s na água e 5000 m/s no granito. Já as ondas S são ondas transversais em que o deslocamento do meio é perpendicular à direção de propagação da energia emitida. Segundo Thomas (2004), até o momento somente as ondas P vem sendo utilizadas comercialmente nos levantamentos sísmicos.

Atualmente, o uso de sistemas de geração de imagens, como a exemplo, a microtomografia computadorizada de raios-X, tem possibilitado na determinação de propriedades petrofísicas assim como o estudo da propagação de ondas acústicas em rochas-reservatórios de óleo e/ou gás. Neste contexto, o presente trabalho tem como

objetivo determinar a velocidade de propagação da onda compressional ou onda P em uma amostra de rocha carbonáticas, que pode ser caracterizado como um reservatório de petróleo, a partir de imagens microtomográficas.

2 | METODOLOGIA

A amostra investigada, denominada PT11_H1, é de uma rocha carbonática, a qual consiste de uma rocha sedimentar que pode ser caracterizada como um potencial reservatório de petróleo e gás. Tal amostra, em forma de plugue, foi extraída de um afloramento da Formação Santana na Bacia do Araripe.

A Bacia do Araripe está localizada no nordeste brasileiro, mais especificamente, nas regiões sul do estado do Ceará, oeste do estado de Pernambuco e leste do Piauí, sendo a que apresenta a maior área de exposição de rochas cretáceas (12.200 km²) dentre as bacias interiores do Nordeste. O embasamento dessa bacia é caracterizado por granitos, gnaisses, migmatitos, quartzitos e outras rochas de baixo grau metamórfico (clorita-xistos, filitos e mármore) (Hasui, 2012). Divide-se nos grupos Araripe e Cariri, que por sua vez são subdivididos nas formações Cariri, Brejo Santo, Missão Velha, Abaiara, Rio das Batateiras, Crato, Ipubi, Santana e Exu (Martill, 2007).

A Formação Santana aflora na parte inferior da Chapada do Araripe e está subdividida em três Membros: Crato, Ipubi e Romualdo (Brito, 1975; Arai et al, 2004). A amostra deste estudo pertence ao membro Crato.

As propriedades petrofísicas e acústica da amostra de rocha em estudo foram estimadas através da análise de imagens de microtomografia de raios-X, por meio de simulação numérica, a qual foi feita com a utilização dos softwares *Avizo Fire 8.1* e *Comsol Multiphysics*.

Para gerar um modelo digital de rocha, foram selecionadas 300 imagens localizadas na porção intermediária da amostra, sendo então, selecionadas as imagens de número 301 a 600. As 300 imagens selecionadas foram processadas por meio do software *Avizo Fire 8.1* e, a partir das imagens processadas, retirou-se um *subvolume* cúbico de dimensões 300 por 300 por 300 *voxels*, como mostrado na Figura 1, usando o comando *extract subvolume*.

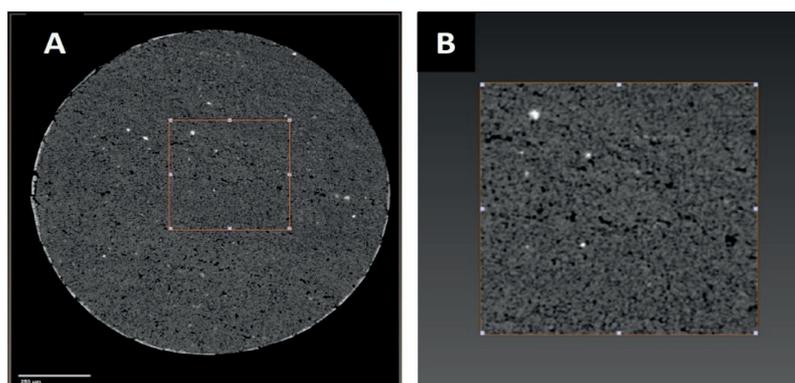


Figura 1. Slice 2D da amostra em estudo a) Imagem importada no *Avizo Fire*, b) Região de

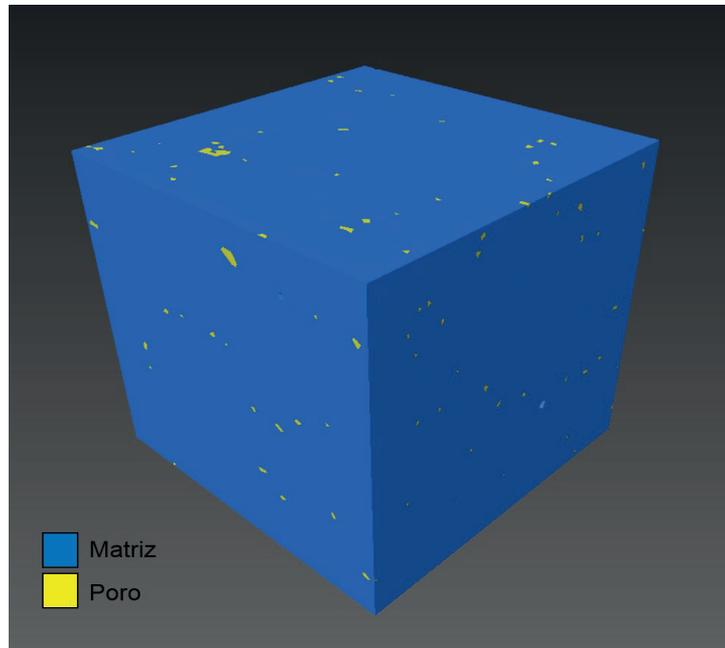


Figura 3. Superfície 3D gerada a partir de slices segmentados.

Fonte: Dados de Pesquisa.

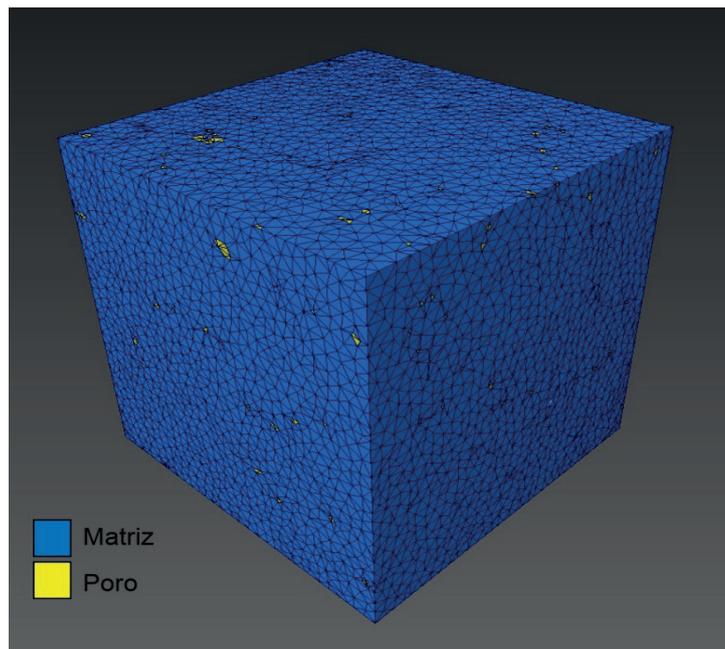


Figura 4. Malha utilizada na modelagem de propagação da onda P.

Fonte: Dados de Pesquisa.

Para que a malha seja gerada não podem existir interseções entre os elementos da superfície, assim é necessário aplicar alguns testes como o *intersections test* e o *orientation test*. Foram também aplicados alguns filtros como o *prepare generate tetra grid*, e o *fix intersection* com o objetivo de obter uma malha bem representativa. Na Figura 4 mostra a malha tetraédrica gerada.

Após gerada, a malha foi importada para o *Comsol Multiphysics*, onde foram submetidas aos ensaios de simulação de propagação das ondas compressoriais. Após a malha ser importada, o próprio software a interpreta e gera domínios, que são grupos de tetraedros que representam um mesmo material, sendo definidos em seguida, os materiais que constituíam cada domínio. Assim, assumiu-se que o domínio de matriz da rocha seria composto por apenas um mineral, a dolomita. Já o domínio dos poros seria composto de ar. Posteriormente, para cada material foram adicionadas as propriedades, mostradas na Tabela 1, necessárias para o estudo de propagação da onda P, sendo estes valores extraídos da literatura.

Propriedade	Dolomita	Ar
Densidade (Kg/m ³)	2820	1,3
Velocidade do som (m/s)	5789	340
Compressibilidade (Pa-1)	Não utilizado	1,01x10-4
Módulo de cisalhamento (GPa)	45	Não utilizado
Módulo de incompressibilidade (GPa)	94,9	Não utilizado

Tabela 1. Valores de entrada das propriedades dos materiais utilizadas no *Comsol Multiphysics*.

Fonte: Dados de pesquisa.

Para realização do ensaio, utilizou-se o módulo *pressure acoustics transient, time dependent*, dentro da sessão *acoustics* do *Comsol Multiphysics*. Este módulo permite estudar a passagem de pulsos de pressão ao longo do tempo que atravessam determinado meio (Apolinário, 2016). Também foram definidas que as unidades utilizadas nos ensaios seriam na ordem de micrômetros e microssegundos, devido, respectivamente, às dimensões da amostra e visando otimizar o tempo de ensaio. O intervalo de tempo de estudo do ensaio foi definido para iniciar em zero e encerrar em 0,15 's, tempo necessário para a onda P se propagar no meio rochoso.

Por fim, delimitou-se o sistema de estudo, sendo determinadas as regiões as quais ocorreriam a propagação de ondas, as fronteiras do sistema, os valores iniciais de pressão de gradiente de pressão, além do local da aplicação do pulso de pressão. A propagação de ondas foi configurada para ocorrer em todos os domínios, independente de poro ou matriz. As fronteiras do sistema selecionadas foram todas as faces do cubo, exceto a que havia sido selecionada para ser a face na qual ocorreria a emissão do pulso de pressão. O pulso de pressão foi selecionado para ocorrer na face do

cubo que possuísse o menor número de domínios, se propagando em direção à face aposta, de acordo com a Equação (1).

$$P = A_{mp} \cdot \text{sen}(2\pi ft) \quad (1)$$

Onde: P é o pulso de pressão; A_{mp} é a amplitude inicial do pulso de pressão; f é a frequência da onda; e t é o tempo.

Utilizou-se uma amplitude de 100 Pa. A frequência adotada foi de 25 MHz, para que pudesse ser observada ao menos uma forma de onda completa no interior da amostra. Depois, foram selecionados seis pontos de leitura por meio da ferramenta *Point Graph*, existente no menu *Results*, sendo selecionados os quatro vértices da face oposta ao plano de aplicação do pulso de pressão, e dois pontos no centro da face.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado gerado pelo *Comsol Multiphysics* é um gráfico de pressão por tempo (Figura 5), que evidencia a primeira chegada de onda P em cada ponto, representada por cada curva.

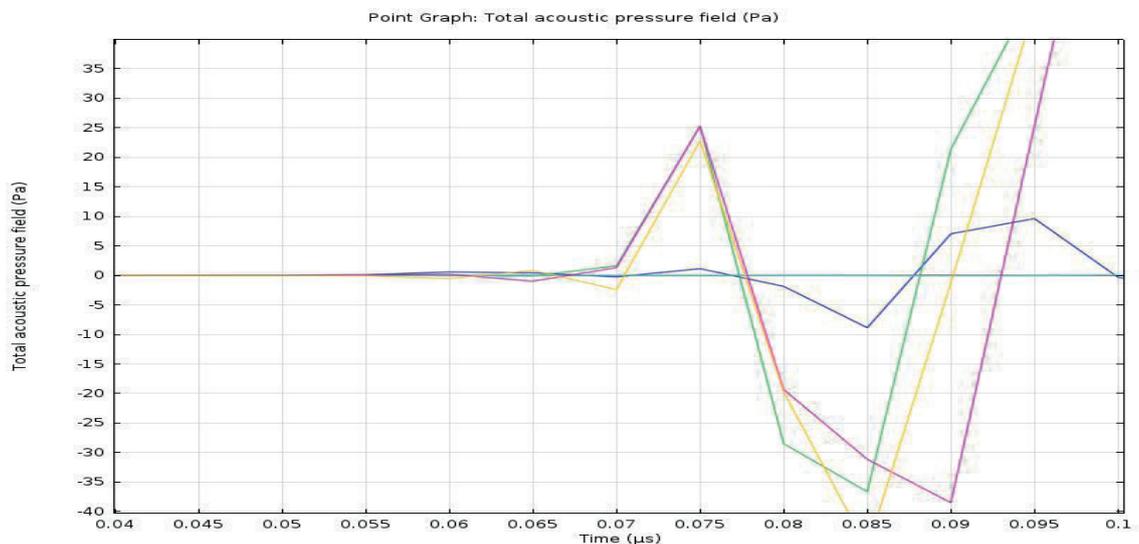


Figura 5. Variação de pressão gerada pela passagem da onda simulada no *Comsol Multiphysics*.

Fonte: Dados de Pesquisa.

A partir da Figura 5, foi realizada uma picagem da onda sendo medido o tempo da chegada da primeira onda para cada ponto. Com o dado do tempo de chegada da primeira onda, foi realizado o cálculo da velocidade de propagação da onda computacional (V_{comp}) por meio da Equação (2).

$$V_{\text{comp}} = n.R/t \quad (2)$$

Onde: V_{comp} é a velocidade de propagação da onda computacional; n é o número de *slices* da subamostra; R é a resolução de cada amostra do imageamento por microtomografia; e t é o tempo de chegada da primeira onda nos pontos de medição.

Para fins de comparação, o valor da velocidade de propagação da onda P na amostra de rocha em estudo obtido de forma experimental é de 5789 m/s. Este dado foi obtido no laboratório de petrofísica da Universidade Federal de Campina Grande, através do equipamento *Autolab 500®*. Equipamento, este, utilizado para a medição das propriedades elásticas.

Na Tabela 2 são mostrados os resultados dos ensaios de porosidade, permeabilidade e tortuosidade obtidos através da petrofísica computacional a partir de imagens de microtomografia de raios-x, assim como também, o valor da velocidade da onda compressional, sendo este estudo acústico realizado na amostra em estudo por meio do *software Comsol Multiphysics*.

Amostra	Porosidade (%)	Permeabilidade (mD)	Tortuosidade	Vp (m/s)
PT11_H1	9,96	0,000015	2,5	6043

Tabela 2. Propriedades petrofísicas da amostra em estudo obtidas através da petrofísica computacional.

Fonte: Dados de Pesquisa.

Analisando a propagação da onda compressional (Onda P) na amostra em estudo, nota-se que houve uma certa aproximação nos resultados de velocidade da onda P extraído da literatura com o obtido através de simulação numérica. Contudo, a amostra estudada apresenta uma baixa porosidade e uma certa homogeneidade, o que facilita a propagação da onda P no meio.

De acordo com Apolinário (2006), acredita-se que para otimização do cálculo de velocidades de ondas P pelo método computacional, deva-se adicionar um número maior de pontos de leitura, podendo assim obter um valor médio de velocidade com um nível de confiabilidade maior.

A Figura 6 mostra a simulação de como a onda compressional se propaga no meio nos tempos de 0,01 μs , 0,04 μs , 0,08 μs e 0,15 μs . É possível observar que no tempo de 0,08 μs a onda já tem atravessado todo o meio.

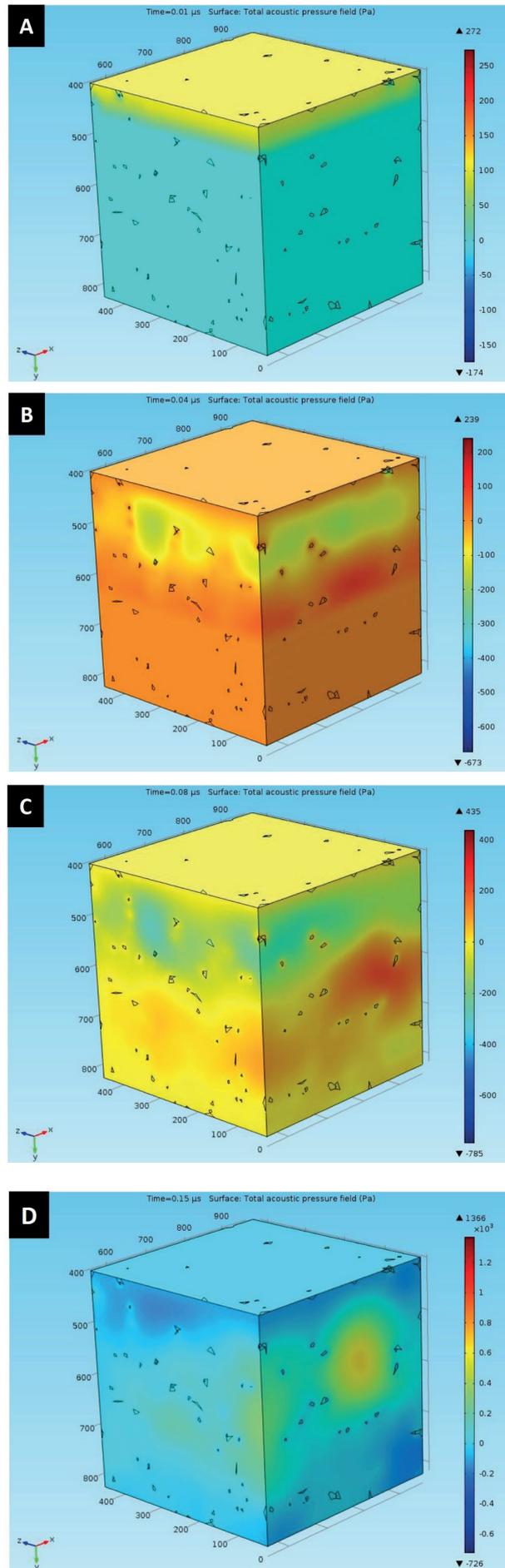


Figura 6. Propagação da onda de pressão na amostra em estudo nos tempos de a) 0,01 μs ; b) 0,04 μs ; c) 0,08 μs ; e d) 0,015 μs .

Fonte: Dados de Pesquisa.

Na Figura 7 também é mostrada a propagação da onda compressional no meio estudado, nos tempos de $0,01 \mu s$, $0,04 \mu s$ e $0,08 \mu s$, de forma a visualizar como a onda se propaga no interior da amostra. É possível observar a má conectividade entre os poros o que evidencia uma baixa permeabilidade da rocha.

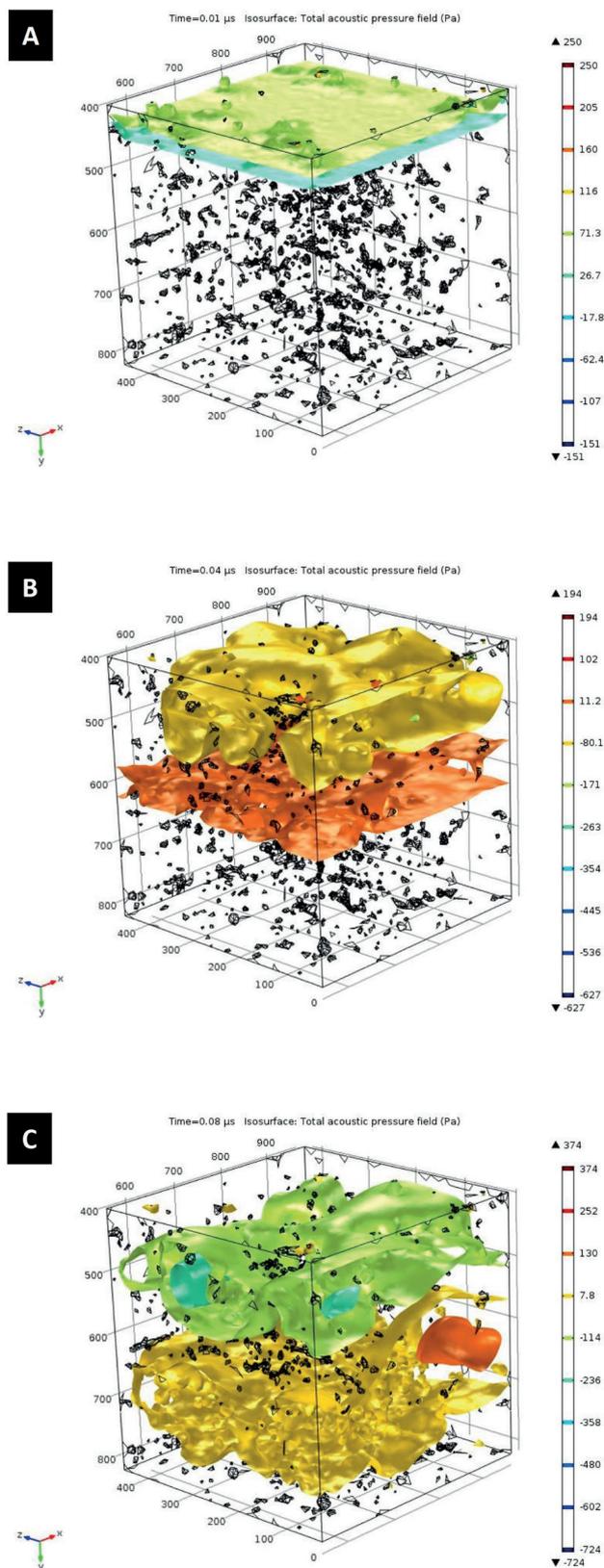


Figura 7. Propagação da onda de pressão na amostra nos tempos de a) $0,01 \mu s$; b) $0,04 \mu s$ e c) $0,08 \mu s$.

Fonte: Dados de Pesquisa.

Como o software *Comsol Multiphysics* faz leituras pontuais, pode-se ocorrer a propagação de onda diretamente pela matriz da subamostra, sem haver nenhuma influência do poro e do fluido contido em seu interior, e isso, gera resultados predominantemente superdimensionados, pouco representativos e pouco comparativos com as velocidades de onda P medidas convencionalmente. No entanto, como a leitura da velocidade computacional na amostra relativamente se aproximou da leitura de velocidade obtida de forma convencional, fica evidenciado que o potencial do método computacional para o estudo de velocidades de ondas compressoriais elásticas foi, de certa forma, representativa.

4 | CONCLUSÕES

A aplicação do método computacional para obtenção de velocidades de ondas P gerou um valor próximo ao do medido convencionalmente em laboratório para a mesma amostra, e desta forma, fica evidenciado que a medição pontual de velocidade para a amostra em estudo tem apresentado uma boa representatividade e tem se mostrada satisfatória, uma vez que, o meio estudado é homogêneo, e isso, facilita a propagação da onda.

REFERÊNCIAS

APOLINÁRIO, F. O.; **Influência da Saturação Fluida nas Propriedades Elásticas de Rochas Carbonáticas**. Dissertação de Mestrado – Programa De Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB, 2016.

ARAI, M.; CARVALHO, I. S.; CASSAB, R. C. T.; **Bacias sedimentares brasileiras: Bacia do Araripe**. Informativo da Fundação Paleontológica. 2004.

BRITO, I. M.; **Chapada do Araripe. As Bacias Sedimentares do Nordeste do Brasil**. 1975.

DIAS, A. G.; FREITAS, M. C.; GUEDES, F.; BASTOS, M. C; **Onda sísmica**. Revista de Ciência Elementar. Vol. 2. Nº 1. 2014.

FIGUEIREDO, A. M.; **Mapeamento Automático de Horizontes e Falhas em Dados Sísmicos 3D baseado no algoritmo de Gás Neural Evolutivo**. Dissertação. Rio de Janeiro. PUCRio. Departamento de Informática, 2007.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A.; **Geologia do Brasil**. Primeira edição. São Paulo: Beca, 2012. p. 510.

MARTILL, D.M. **The age of the Cretaceous Santana Formation fossil Konservat Lagerstätte of north-east Brazil: a historical review and an appraisal of the biostratigraphic utility of its palaeobiota**, Cretaceous Research, 2007.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2. Ed – Rio de Janeiro. Interciência: Petrobras, 2004.

MULTIÁREAS DA ENGENHARIA ELÉTRICA COMO CONTEÚDOS COMPLEMENTARES APLICADOS À REDE PÚBLICA DE ENSINO

Hélvio Rubens Reis de Albuquerque

Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande – PB

Raimundo Carlos Silvério Freire

Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande – PB

RESUMO: A Paraíba possui uma taxa de abandono escolar no ensino médio acima da média nacional. Esse dado revela um sistema de ensino ineficaz que não contempla áreas tecnológicas como instalações elétricas, eletrônica e programação em linguagem C. Para fomentar um ambiente que proporcione aos alunos conhecer algumas das diversas áreas da Engenharia Elétrica, o Projeto Elétrons Livres foi realizado em parceria com o Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas (LIMC), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e desenvolvido na Escola de Ensino Fundamental e Médio Plínio Lemos, na cidade de Puxinanã-PB. Seu principal objetivo é motivar alunos dos níveis fundamental e médio a cursarem Engenharia Elétrica, por meio de aulas teóricas, montagens, experimentos e desafios em grupo que visam complementar o ensino clássico das escolas. Foram abordados conteúdos de matemática, conceitos básicos de eletricidade e circuitos elétricos, eletrônica analógica e digital, programação em linguagem

C, instrumentação eletrônica e automação com microcontroladores. A vigência do projeto promoveu uma integração entre os conteúdos adquiridos e o ensino convencional, ajudando no desempenho escolar dos participantes.

PALAVRAS-CHAVE: ensino, instalações elétricas, eletrônica, programação, microcontroladores.

ABSTRACT: The Brazilian state of Paraíba has a high school dropout above national average. This reveals an inefficient teaching system that does not cover the technical fields such as electrical installations, electronics and C programming language. In order to provide a welcoming environment that allows the students to know some of the Electrical Engineering several fields, the project entitled “Elétrons Livres” was held in partnership with the Laboratory of Scientific Instrumentation and Metrology (LIMC), located at Federal University of Campina Grande (UFCG), and developed at the Elementary and Middle School Plínio Lemos, situated in the city of Puxinanã in the state of Paraíba. The project main goal is to motivate both elementary and high school students to pursue the area of Electrical Engineering, by doing both lecture classes and practical ones including laboratory sessions and group challenges that aim to complement the classic school teaching. The concepts of mathematics, basic electricity

concepts, electrical circuits, analog and digital electronics, C programming language, electronic instrumentation, and microcontroller automation were covered. The project term promoted an integration between the contents acquired and the conventional teaching, helping the participants scholar development.

KEYWORDS: teaching, electrical installations, electronics, programming, microcontrollers.

1 | INTRODUÇÃO

A integração entre conteúdos básicos escolares e profissionalizantes compõe um fator primordial na educação de jovens e adultos, pois incute nos estudantes uma visão mais abrangente sobre determinadas áreas profissionais. As mudanças no âmbito tecnológico que ocorreram nos últimos 10 anos, vêm exigindo um perfil mais completo, aliando o método de ensino clássico com o profissionalizante (OLIVEIRA, 1996). Essa questão já está sendo discutida pelo Governo Federal, que prevê modificações na grade curricular de ensino, para diminuir a taxa de abandono escolar no nível médio, que em 2014 foi de 7,6% (INEP, 2015).

Entretanto, enquanto as mudanças não são efetivadas, a taxa de abandono escolar do ensino médio no estado da Paraíba atingiu 12,7% em 2014, ficando acima da média da região Nordeste que foi de 9,3%. O professor-pesquisador da Faculdade de Educação da Universidade de Brasília, Remi Castioni (MARIZ, 2014), afirma que “os conteúdos precisam mudar, para estarem ligados ao momento da vida do estudante e com uma dosagem que se encaixe no interesse dele”.

O mesmo estilo clássico de ensino é observado nas universidades, sobretudo nos cursos de exatas como Engenharia Elétrica. A pouca ou nenhuma utilização de recursos práticos nos períodos iniciais, tende a afastar alguns alunos, principalmente os que possuem deficiências em matemática e física. Existe um problema na estrutura curricular dos cursos de graduação em engenharia, na qual as disciplinas profissionalizantes são deixadas para os últimos anos. Assim, o estudante tem a visão equivocada de que o curso não é atraente e acaba desistindo (SIMAS, 2012).

Atento a todos esses aspectos, o Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas (LIMC), situado na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), vem desenvolvendo há alguns anos projetos de ensino inovadores, cujo propósito não é formar técnicos ou engenheiros, mas motivar estudantes do ensino médio e dos períodos iniciais do curso de graduação, a conhecer as principais áreas da Engenharia Elétrica.

Foi desenvolvido em parceria com o LIMC-UFCG um projeto de ensino e extensão que abordasse algumas áreas da Engenharia Elétrica como instalações elétricas residenciais, eletrônica analógica e digital, programação em linguagem C e introdução a microcontroladores, que resultou no Projeto Elétrons Livres.

Devido a carência de oferta de cursos extracurriculares nas cidades do interior da Paraíba, sobretudo de caráter tecnológico, o projeto foi implementado na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Plínio Lemos, no município de Puxinanã-PB.

Nas seções subsequentes serão abordados a metodologia aplicada, os resultados obtidos, discussões e conclusões sobre o projeto de ensino desenvolvido.

2 | METODOLOGIA

O Projeto Elétrons Livres foi proposto por um estudante de graduação ao professor coordenador do Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas (LIMC-UFCG), que há alguns anos vem desenvolvendo atividades paralelas na área de formação em Eletrônica no ensino médio. O apoio ocorreu por meio do empréstimo de equipamentos, componentes e utilização das dependências do próprio laboratório para treinamento específico em alguns instrumentos.

A Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Plínio Lemos, da cidade de Puxinanã – PB, foi escolhida sobretudo por se encontrar na mesma cidade em que o estudante de graduação reside, facilitando a mobilidade e cooperação entre as partes envolvidas. Os alunos não passaram por nenhum processo de seleção sendo necessário apenas o interesse em participar do projeto e estar matriculado na escola. Não era necessário assistir todos os minicursos, pois os participantes deveriam escolher a área que mais se identificassem.

Os conteúdos teóricos foram abordados por meio da projeção de slides, vídeos, animações e a utilização do quadro branco. A realização de atividades práticas e lúdicas foi o principal objetivo do projeto, sendo as montagens e experimentos realizados em grupo, além de desafios entre os participantes, visando criar uma maior cooperação e interação entre eles.

Durante a vigência do projeto foram realizados treinamentos sobre o uso dos principais equipamentos de laboratório como multímetros, alicates amperímetros, fontes de tensão, geradores de função, osciloscópio, entre outros. Esse treinamento possibilitou que os alunos participassem do ambiente do laboratório antes de ingressar na universidade, oportunidade que poucos alunos possuem. Além disso, as visitas ao LIMC-UFCG tinham como objetivo despertar o interesse dos participantes a conhecerem um pouco mais sobre o curso de Engenharia Elétrica.

Nas primeiras aulas foram identificadas por parte do estudante de graduação, algumas dificuldades em conteúdos básicos de matemática, como potenciação, resolução de equações do primeiro e segundo grau e até mesmo em operações básicas como multiplicação e divisão. Para isso, 8 aulas de matemática foram dadas em paralelo com o projeto, abordando os principais assuntos que os próprios alunos elencavam como barreiras.

O projeto foi iniciado em 28 de fevereiro de 2015, contando com a participação de 30 alunos do ensino médio e 5 alunos do ensino fundamental. As aulas foram realizadas aos sábados com três horas de duração, divididas em quatro minicursos: Instalações Elétricas Residenciais (8 aulas), Eletrônica Analógica e Digital (8 aulas), Programação em Linguagem C (9 aulas) e Instrumentação Eletrônica e Automação com Arduino UNO (9 aulas). A metodologia e principais atividades realizadas em cada área serão apresentadas a seguir:

a) Instalações Elétricas Residenciais

A duração do minicurso foi de 28 de fevereiro a 18 de abril de 2015. Em conjunto com as aulas de instalações elétricas residenciais foram abordados conteúdos de eletricidade básica, como corrente, tensão e potência elétricas, assim como as definições das leis de Kirchhoff por meio de configurações de circuitos em série e paralelo, utilizando lâmpadas incandescentes durante as explanações, como pode ser visto na Figura 1.

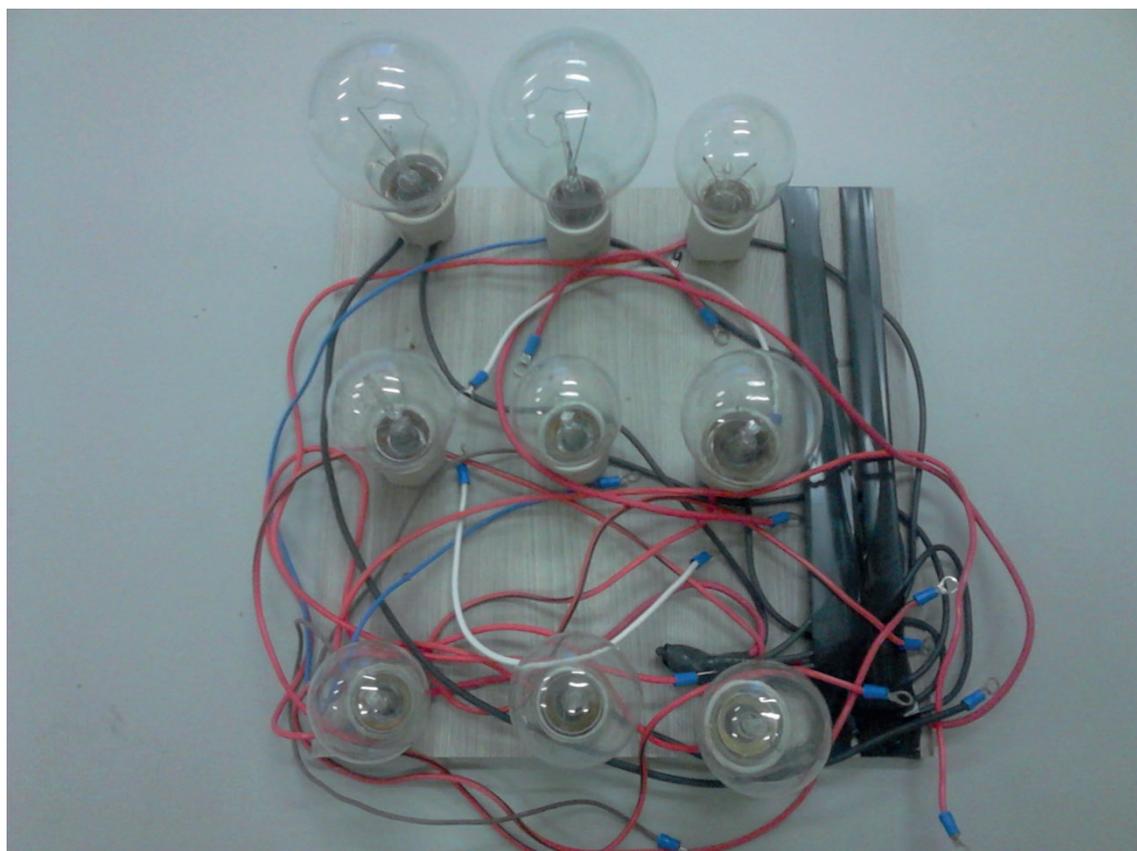


Figura 1: módulo de lâmpadas incandescentes utilizado para demonstrar as leis de Kirchhoff.

Fonte: próprio autor.

Os instrumentos de medição de tensão e corrente elétricas, como alicate amperímetro e multímetro foram utilizados para demonstrar as principais características de aplicação de cada equipamento.

A chave de teste permitiu aos estudantes identificarem a fase e neutro da

instalação, tornando mais intuitivo o processo de padronização das instalações das tomadas com padrão novo.

Foi utilizado como material de apoio, o Guia do Laboratório de Instalações Elétricas Prediais, do Laboratório de Instalações Elétricas da UFCG (COSTA e SOUZA, 2004). Os participantes realizaram algumas atividades práticas em instalações elétricas como trocar tomadas do padrão antigo para o padrão atual e instalar interruptores de uma seção e duas seções, interruptores paralelos (*three-way*) e lâmpadas. Eles também aprenderam a fazer emendas em condutores rígidos e flexíveis, além de dimensioná-los corretamente por meio da bitola específica para cada faixa de corrente elétrica. Por fim, construíram um módulo com todas as instalações elétricas realizadas, como apresentado na Figura 2.

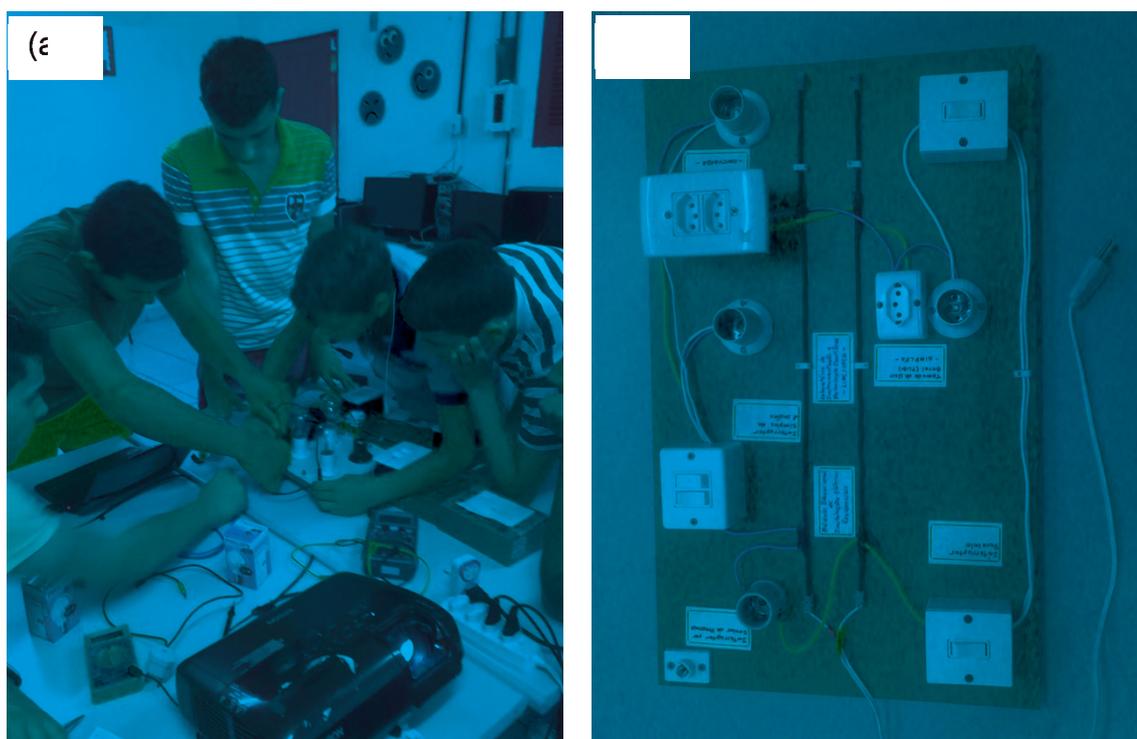


Figura 2: (a) alunos durante a montagem do módulo de instalações e (b) o módulo concluído.

Fonte: próprio autor.

b) Eletrônica Analógica e Digital

A duração do minicurso foi de 25 de abril a 13 de junho de 2015. Os principais componentes e dispositivos da eletrônica analógica e digital foram apresentados como resistor, capacitor, indutor, diodo, LED, transistor, amplificador operacional e portas lógicas. Entretanto, esses dispositivos eram apresentados em conjunto com outros componentes, na forma de pequenos projetos como termômetros analógicos, amplificadores de microfone de eletreto, sensor crepuscular, detector de presença, alarme de segurança, acionamento de cargas por controle remoto, detector de nível de água, entre outros.

O desenvolvimento de projetos, tinha por objetivo promover a integração entre os estudantes, além de desenvolver características de trabalho em equipe, como pode

ser visto na Figura 3.



Figura 3: grupos de alunos trabalhando em uma montagem de um experimento.

Fonte: próprio autor.

Em todas as aulas, formaram-se grupos, em que os alunos se reuniam para fazer as montagens, testar seus projetos e realizar as medições quando necessário.

c) Linguagem de Programação C

A duração do minicurso foi de 04 de junho a 29 de agosto de 2015. Para a realização das aulas de programação em Linguagem C, foi utilizada a sala de informática da escola que contava com 15 computadores, entretanto apenas 6 funcionavam. Na Figura 4 é possível ver os alunos dispostos em pequenos grupos após uma rápida explanação teórica, obtida da apostila do Minicurso de Introdução à Linguagem C, do PET-Engenharia Elétrica da UFCG (BRAGA e MARINUS, 2010).



Figura 4: aulas de programação em C, na sala de informática da escola.

Fonte: próprio autor.

Após cada explanação teórica, os participantes se reuniam com o objetivo de criar um programa simples, como por exemplo, uma calculadora de operações básicas (soma, subtração, multiplicação e divisão). O software necessário para essas aulas foi

o Dev-C++ (ou Dev-Cpp), que é um ambiente de desenvolvimento integrado e gratuito, utilizado para desenvolver programas em linguagem C.

d) Instrumentação Eletrônica e Automação com Arduino

A duração do minicurso foi de 05 de setembro a 31 de outubro de 2015. A última área abordada foi a dos microcontroladores, especificamente o ATmega328 da *Atmel Corporation*[®], embarcado em uma placa de protótipos eletrônicos chamada Arduino UNO[®]. Essa placa é utilizada por amadores e aficionados em eletrônica, o que possibilita complementar o ensino de programação, pois a linguagem utilizada para a descrição de hardware, o *Wiring*[®], é baseado na linguagem C.

Por meio do Arduino foi possível inserir alguns conceitos mais específicos de instrumentação eletrônica e automação, como conversão analógico-digital, medições de grandezas, precisão, exatidão, etc. Foram desenvolvidos projetos para o desenvolvimento de medidores de temperatura e umidade, detectores de chama, acionamento de cargas por sensor de presença e controle de cargas por controle remoto. Ao fim das montagens, os estudantes realizavam os testes para verificar a eficiência dos projetos, como apresentado na Figura 5.



Figura 5: projetos de detecção de presença e medição de temperatura e umidade.

Fonte: próprio autor.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a conclusão do último módulo, os alunos responderam a um questionário com 12 perguntas objetivas e subjetivas sobre o Projeto Elétrons Livres. Esse questionário foi realizado com o objetivo de obter informações diretamente dos participantes, criando um diagnóstico parcial sobre o desenvolvimento do projeto, assim como seus pontos positivos e negativos.

A primeira pergunta do questionário foi: “Por que você se inscreveu no Projeto Elétrons Livres?”. No Quadro 1, é possível conferir que cerca de 86% dos participantes afirmaram que se inscreveram no projeto porque gostam de eletrônica/programação/tecnologia.

Por que você se inscreveu no Projeto Elétrons Livres?	
GOSTO DE ELETRÔNICA/PROGRAMAÇÃO/TECNOLOGIA	6
CURIOSIDADE	1
NENHUM MOTIVO ESPECÍFICO	0
OUTRO	0

Quadro 1: o que motivou os alunos a participarem de todo o projeto.

Fonte: próprio autor.

A segunda pergunta foi: “Qual o nível de dificuldade que você atribuiu ao Projeto Elétrons Livres ANTES de se inscrever?”. Em seguida, outra pergunta similar: “Qual o nível de dificuldade que você atribuiu ao Projeto Elétrons Livres APÓS concluí-lo?”. Esses questionamentos tinham como objetivo traçar um panorama sobre a percepção dos alunos sobre a dificuldade na área de exatas, por meio da participação em todos os módulos. No Quadro 2, é possível observar que apenas um aluno mudou a sua percepção sobre o nível de dificuldade apresentado no curso.

Qual o nível de dificuldade que você atribuiu ao Projeto Elétrons Livres ANTES de se inscrever?	
FÁCIL	0
MODERADO	7
DIFÍCIL	0
Qual o nível de dificuldade que você atribuiu ao Projeto Elétrons Livres APÓS concluí-lo?	
FÁCIL	1
MODERADO	6
DIFÍCIL	0

Quadro 2: percepção sobre o nível de dificuldade do projeto.

Fonte: próprio autor.

Essa predisposição natural de supor que uma área tecnológica é difícil, sobretudo por necessitar de matemática, acaba muitas vezes afastando alguns alunos que se sentem desmotivados por não conseguirem acompanhar devidamente todos os conteúdos. Para dissuadi-los dessa visão pré-concebida, foi necessário dar algumas aulas de matemática básica, que de acordo com o relato de todos os participantes no questionário, acabaram ajudando-os no seu desempenho escolar.

Além de aulas extras sobre conteúdos teóricos complementares, desenvolver uma visão crítica também é importante. Para isso, os alunos foram retirados de sala e levados a conhecer a instalação elétrica da própria escola, como pode ser visto na Figura 6.



Figura 6: aula em que os alunos analisaram a instalação elétrica da escola.

Fonte: próprio autor.

Os estudantes conseguiram identificar erros e propor sugestões de melhoria, como por exemplo, a troca das tomadas de uso geral para o padrão novo. Essas proposições foram levadas à Direção Geral da escola e resultaram na adequação da instalação elétrica do prédio.

Associado a essa atividade, foi oferecida aos participantes uma palestra sobre os efeitos e riscos de choques elétricos ao corpo humano, ministrada por Bianca Maria Cruz Cartaxo, aluna do curso de graduação em Engenharia Elétrica da UFCG, como registrado na Figura 7.



Figura 7: palestra sobre risco de choques elétricos.

Fonte: próprio autor.

Após essa apresentação, alguns participantes passaram a ter mais cuidado com o manuseio de equipamentos elétricos utilizados no projeto. Eles também relataram que passaram a observar inclusive a instalação elétrica de suas casas e começaram a conscientizar familiares e amigos sobre os riscos da eletricidade.

Todas essas atividades paralelas foram tomadas como medidas de prevenção contra a evasão do projeto, que não ultrapassou 50% em nenhum dos minicursos, como apresentado no gráfico da Figura 8.

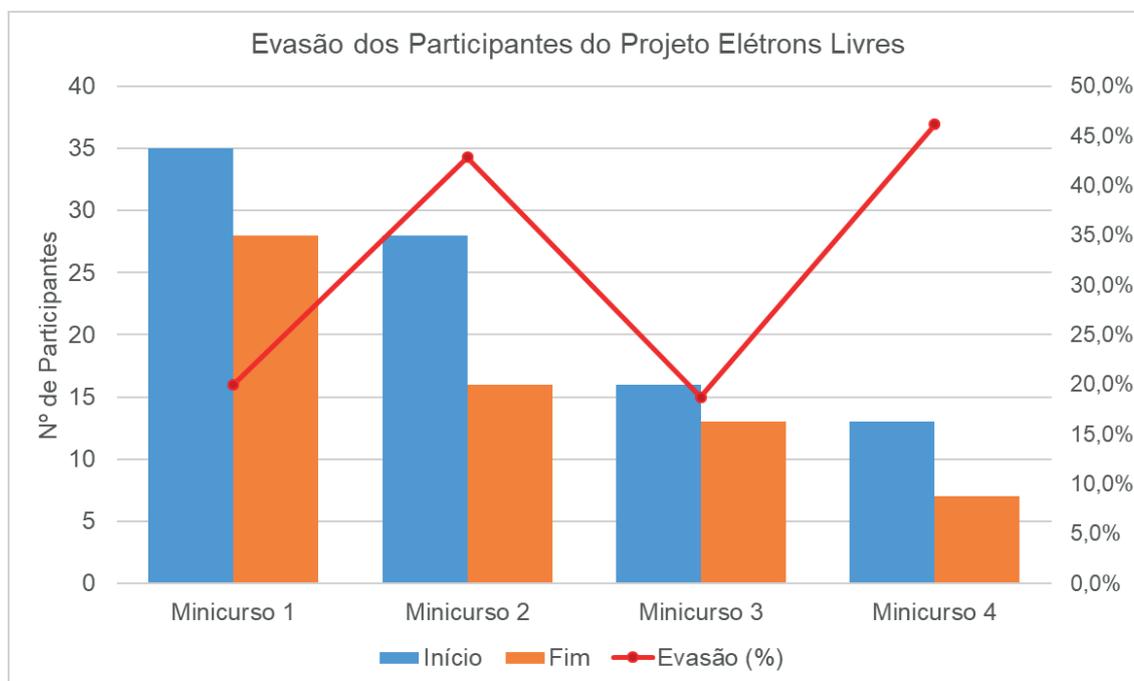


Figura 8: evasão dos participantes no início e fim de cada minicurso e a respectiva evasão.

Fonte: próprio autor.

Os módulos de instalações elétricas (Minicurso 1) e introdução à programação (Minicurso 3) foram os que possuíram a menor taxa, 20,0% e 18,8% respectivamente. Eletrônica analógica e digital (Minicurso 2) e instrumentação eletrônica e automação com Arduino, apresentaram uma taxa de evasão maior, de 42,9% e 46,2%, respectivamente.

A evasão pode ser identificada por meio de vários fatores, que não necessariamente estejam relacionados à execução do projeto. Ao serem perguntados sobre as principais dificuldades enfrentadas durante os módulos, alguns citaram o horário como fator determinante, visto que as aulas eram aos sábados e compreendiam o horário de 8h00 às 12h00. Entretanto, o horário não foi a única condição que desestimulou os alunos a continuarem no projeto.

No Quadro 3, é apresentado os dados sobre a pergunta: “Você mora na zona rural ou urbana?”. Esses dados sobre o espaço geográfico em que os alunos residiam, na maioria das vezes está diretamente associado à evasão nas escolas e em projetos extracurriculares.

Você mora na zona rural ou urbana?	
Zona Rural	6
Zona Urbana	1

Quadro 3: dados sobre o espaço geográfico em que os participantes residem.

Fonte: próprio autor.

É possível identificar que 86% dos alunos moram na zona rural, que não é atendida

pelo sistema de transporte público. Assim, muitos deles dependem exclusivamente de veículos próprios ou transportes alternativos para chegar à escola, gerando custos adicionais, o que pode contribuir para a participação desses alunos em projetos sem ajuda de custo.

Outra pergunta foi: “Quanto tempo em média (em minutos) você gasta para chegar à escola onde o Projeto Elétrons Livres é desenvolvido?” e as respostas podem ser conferidas no Quadro 4.

Quanto tempo em média (em minutos) você gasta para chegar à escola onde o Projeto Elétrons Livres é desenvolvido?						
Aluno (a)	Aluno (a)	Aluno (a)	Aluno (a)	Aluno (a)	Aluno (a)	Aluno (a)
I	II	III	IV	V	VI	VII
40	10	45	30	15	60	25

Quadro 4: tempo de deslocamento dos participantes para a escola.

Fonte: próprio autor.

Portanto, os alunos levavam em média 32 minutos para chegarem a escola. Considerando o horário de início das aulas, a maioria dos participantes precisavam acordar muito cedo, o que pode ter influenciado na decisão dos demais em não prosseguir com os outros módulos.

As últimas perguntas, referenciam-se a análise direta sobre o projeto e sobre sua execução. As perguntas foram: “Você participaria de uma nova edição do Projeto Elétrons Livres?”, “Você indicaria as aulas do Projeto Elétrons Livres para outras pessoas?” e “Entre 5 e 10 (sendo 5 ruim e 10 excelente) qual a nota que você dá ao Projeto Elétrons Livres?”. As respostas estão dispostas no Quadro 5.

Você participaria de uma nova edição do Projeto Elétrons Livres?						
SIM						7
NÃO						0
Você indicaria as aulas do Projeto Elétrons Livres para outras pessoas?						
SIM						7
NÃO						0
Entre 5 e 10 (sendo 5 ruim e 10 excelente) qual a nota que você dá ao Projeto Elétrons Livres?						
Aluno (a)	Aluno (a)	Aluno (a)	Aluno (a)	Aluno (a)	Aluno (a)	Aluno (a)
I	II	III	IV	V	VI	VII
9	8	10	8	9	9	10

Quadro 5: respostas dos participantes sobre o Projeto Elétrons Livres.

Fonte: próprio autor.

De acordo com as respostas dos participantes, pode-se afirmar que os mesmos

participariam novamente de uma outra edição do projeto, apesar de todas as dificuldades relatadas. Além disso, o projeto como um todo obteve média 9, o que indica êxito na execução das atividades que foram propostas.

4 | CONCLUSÕES

A evasão do Projeto Elétrons Livres desde o começo do primeiro módulo até o último, foi de 80% e a princípio, pode-se afirmar equivocadamente que não houve êxito. No entanto, deve-se ter em mente que o seu objetivo principal era motivar alunos a cursarem Engenharia Elétrica, por meio de interação com quatro áreas de interesse: instalações elétricas, eletrônica, programação e automação. Aos estudantes foi dada a liberdade de escolher pelo menos um dos quatro módulos, não havendo nenhum requisito prévio que os impedisse de cursar os módulos fora da sequência cronológica oferecida.

A liberdade de escolha tinha caráter puramente didático, com o objetivo de apresentar novos temas, sem a carga por vezes estressante a que o estudante é colocado em uma disciplina obrigatória. Dessa forma, já era esperado que a evasão ocorresse, devido a diversos fatores externos ou pela não identificação com os assuntos abordados.

Ao fim do projeto, observou-se que entre os principais fatores externos, o horário das aulas e a distância da escola até a casa dos participantes, poderiam ser fatores importantes de decisão para abandonar o projeto. Associado a isso, muitos alunos relataram que outras atividades curriculares acabaram surgindo no mesmo horário e sem o auxílio de uma bolsa de estudo, não seria possível continuar participando das aulas.

Diante desse cenário, algumas ações poderiam ter sido adotadas, como identificar as áreas de interesse dos estudantes e a disponibilidade de horários livres no decorrer do ano. Essas ações comporiam um quadro mais detalhado sobre os participantes, o que poderia impactar diretamente na manutenção dos estudantes por mais tempo no projeto.

Apesar da redução dos participantes, os módulos cumpriram seu objetivo com êxito. O módulo de Instalações Elétricas foi importante para uma mudança no cotidiano nos estudantes. Muitos participantes relataram problemas nas instalações elétricas de suas próprias casas, o que ampliou o sentido crítico e analítico dos mesmos. Após a palestra sobre riscos de choque elétrico, observou-se que os mesmos passaram a manusear os equipamentos com maior cautela, além de conscientizar os próprios familiares durante atividades domésticas que envolvessem eletricidade. Esse processo de aprendizagem contínua contribuiu para que os próprios alunos sugerissem mudanças na instalação elétrica da escola, transformando também a comunidade da qual eles pertenciam.

Os módulos de Eletrônica e Programação proporcionaram a inserção de novos assuntos e temas, que os alunos não teriam acesso no currículo escolar vigente. Esses módulos contribuíram para expandir os conhecimentos que os estudantes adquiriam na escola, como matemática básica e física. Essas disciplinas são historicamente consideradas difíceis pela maioria dos estudantes, portanto, foi necessário dar aulas complementares, com o objetivo de reduzir o estranhamento que poderia surgir no decorrer dos módulos.

O ensino de programação superou as expectativas iniciais, pois os estudantes apresentaram uma boa assimilação acerca dos algoritmos, funções e técnicas de programação. A lógica de programação foi importante por apresentar um conteúdo que raramente é abordado nas escolas públicas, e que estimula a lógica matemática e cognitiva, exigida em muitos concursos e processos de seleção de emprego.

As visitas ao Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas na UFCG, foram fundamentais para fomentar nos participantes o desejo de adquirir novas habilidades. Com a manipulação dos equipamentos e instrumentos de medição, os estudantes vivenciaram o cotidiano de um laboratório de engenharia, que proporcionou uma experiência de integração entre escola e universidade. A experiência de conhecer previamente um curso de graduação, compõe fator decisivo na escolha de qual profissão seguir, evitando inclusive, a evasão durante os primeiros anos de graduação.

O questionário ao final do projeto foi importante para identificar o que poderia ser melhorado e qual a composição social dos participantes. Observou-se que os estudantes da escola são em sua maioria da zona rural, com difícil acesso por parte de transportes públicos. Essa dificuldade, no entanto, não impediu que alguns participassem de todos os módulos, provando que existe uma demanda local para projetos similares. A inserção de jovens da zona rural em um contexto completamente diferente de sua realidade, promove uma mudança na forma de pensar sobre o futuro.

Não é possível precisar quantos irão ingressar em Engenharia Elétrica, porém o projeto foi fundamental ao lançar bases sólidas de conhecimento para que os participantes pudessem escolher qualquer área tecnológica. Mesmo que os estudantes optem por seguir carreiras em outras áreas, o conhecimento aprendido será parte integrante de suas vidas, compondo um currículo mais plural que a maioria dos estudantes que concluem o ensino médio em escolas públicas.

REFERÊNCIAS

BRAGA, D. D.; MARINUS, N. S. M. L. **Minicurso: introdução à linguagem C**. Programa de Ensino Tutorial. Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Campina Grande: Campina Grande, 2010.

COSTA, E. G; SOUZA, R. J. **Guia do laboratório de instalações elétricas prediais**. Laboratório de Instalações Elétricas. Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Campina Grande: Campina Grande, 2004.

INEP. **Indicadores educacionais: taxa de rendimento**. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/indicadores-educacionais>>. Acesso em: 12/11/15.

MARIZ, R. IDEB mostra que estagnação do ensino médio reflete altas taxas de evasão escolar. **Estado de Minas**, 2014. Disponível em: <http://www.em.com.br/app/noticia/especiais/educacao/2014/09/07/internas_educacao,566433/ideb-mostra-que-estagnacao-do-ensino-medio-reflete-altas-taxas-de-evasao-escolar.shtml>. Acesso em: 07/11/15.

OLIVEIRA, R. P. A questão da qualidade na educação. **Revista Brasileira de Administração da Educação**. Brasília: v.12, nº1, pp. 61-70, jan./jun., 1996.

SIMAS, A. As graduações campeãs de desistência. **Gazeta do Povo**, 2012. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/educacao/vida-na-universidade/ufpr/as-graduacoes-campeas-de-desistencia-26khijqy1gurtas1veawhyz2>>. Acesso em: 07/11/15.

DESENVOLVIMENTO DE BANCADA PARA INVESTIGAÇÃO DE HIDRODEMOLIÇÃO EM AMBIENTES PRESSURIZADOS

Lidiani Cristina Pierri

BraBo Indústria e Comércio LTDA
Palhoça – SC

Rafael Pacheco dos Santos

BraBo Indústria e Comércio LTDA
Palhoça – SC

Jair José dos Passos Junior

BraBo Indústria e Comércio LTDA
Palhoça – SC

Anderson Moacir Pains

BraBo Indústria e Comércio LTDA
Palhoça – SC

Marcos Aurélio Marques Noronha

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis - SC

RESUMO: Diversas pesquisas vêm sendo realizadas em busca de inovações tecnológicas para exploração e produção de petróleo e gás em águas cada vez mais profundas. A tecnologia atualmente usada no Brasil, para perfuração do pré-sal, não vem atendendo a demanda e requer que equipamentos sejam comprados e alugados de fora do país. Tendo isto em vista, sente-se a necessidade de desenvolvimento de uma tecnologia nacional que atendam a situação e, para isto ocorrer, passos devem ser dados. Neste sentido, a empresa BraBo vem realizando testes para simular o princípio de hidrodemolição (jato d'água de elevada

pressão e vazão) como ferramenta de corte. Isto torna-se interessante, principalmente no que diz respeito ao início da utilização de uma tecnologia tão promissora. Esta é amplamente aplicada em limpezas, descontaminação e preparação de superfície e já vem sendo usada em corte de rochas. Com o intuito de desenvolver a inovação tecnológica, estudos são necessários buscando-se investigar o princípio de hidrodemolição em condições extremas de temperatura e pressão. Para isto, está sendo proposto o desenvolvimento de uma bancada experimental onde os resultados dos testes permitirão determinar os principais pontos relevantes da técnica a ser utilizada e permitirá uma comparação COM AS TÉCNICAS ATUALMENTE USADAS.

PALAVRAS-CHAVE: Pré-sal, Hidrodemolição, Bancada Pressurizada

ABSTRACT: Several researches have been carried out to find technological innovations for exploration and production of oil and gas in deeper waters. The technology currently used in Brazil for pre-salt drilling is not meeting demand and requires equipment to be purchased and rented from outside the country. With this, it is necessary to develop a national technology that takes care of the situation and, for this, steps must be taken. In this sense, the company BraBo has been conducting tests to simulate the

principle of hydrodemolition (with high pressure water jet) as a cutting tool. This becomes interesting, especially with regard to the start of using such a promising technology. This is widely applied in cleanings, decontamination and surface preparation and has already been used in cutting rocks. In order to develop technological innovation, studies are necessary to investigate the principle of hydrodemolition under extreme conditions of temperature and pressure. For this, the development of an experimental bench is proposed, where the results of the tests will allow to determine the main relevant points of the technique to be used and will allow a comparison with the techniques currently used.

KEYWORDS: Pre-salt, Hydrodemolition, Pressurized Bench

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente, diversas pesquisas vêm sendo realizadas em busca de inovações tecnológicas na exploração e na produção de petróleo em águas cada vez mais profundas. Neste sentido, torna-se cada vez mais importante o melhor entendimento dos seus fundamentos, havendo uma conexão entre, de um lado, as condições físicas e ambientais em que se efetivarão as atividades e, do outro, as explorações propriamente ditas, sempre respeitando as exigências daquelas condições (ISRAEL, 2008).

Os desafios tecnológicos das atividades executadas no mar mostram que o quanto mais afastado da costa maior a dificuldade da exploração de petróleo exigindo cada vez mais a busca de novos conhecimentos e inovações (HAPNES, 2014). Ainda tratando-se de exploração de petróleo em águas profundas, as dificuldades técnicas surgem nas condições prevaletentes no clima, no ambiente marinho e nas rochas do fundo do mar. Adicionalmente, as grandes distâncias entre as plataformas e os poços no fundo do oceano e entre as plataformas e o continente tornam o processo mais lento e dificultoso. Além disso, outro problema que surge é quanto a invisibilidade das operações no leito marinho devendo ser manipulados remotamente (WILLSON, 2005).

Os desafios a serem superados para o desenvolvimento tecnológico na exploração e na produção de petróleo no mar envolvem fatores como a velocidade dos ventos, a altura das ondas, as direções das correntes marinhas, as temperaturas, as pressões hidrostáticas decorrentes da lâmina de água, as baixas temperaturas do fundo do mar, a alta taxa de mobilidade da camada de sal, as condições estruturais do solo marinho, a composição e o grau de porosidade das rochas sedimentares (DUSSEALT, 2004).

A tecnologia de corte em rochas por jato de água de alta pressão é conhecida como hidrodemolição e é amplamente utilizada para limpeza, descontaminação e preparação de superfícies. A adaptação da tecnologia de hidrodemolição para a perfuração de poços poderá ser um marco na indústria petrolífera. Dentre as vantagens deste método pode-se citar a redução do desgaste e reutilização do sistema em outros

campos, fazendo com que haja uma redução nos custos de perfuração (MOMBER, 2005).

Para ter o elemento final, substituindo a broca por jato de água de alta pressão e vazão, que apresentem características inovadoras, passos devem ser dados. Uma investigação do princípio de hidrodemolição em condições extremas de temperatura e pressão torna-se necessária. Portanto, para possibilitar este estudo, uma bancada pressurizada de testes está sendo desenvolvida seguindo uma metodologia de desenvolvimento de produto que será detalhado a seguir.

2 | METODOLOGIA

O desenvolvimento de um produto requer um conceito amplo no qual abrange todo o processo de transformação de informações necessárias para a identificação de uma demanda, a produção e o seu uso. Para isto, existem conjuntos de atividades nas quais objetiva-se chegar às especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção, sendo para isto essencial conhecer as necessidades dos clientes.

A principal etapa no desenvolvimento de um projeto diz respeito às decisões tomadas no início do processo, principalmente no levantamento de informações onde são definidos os requisitos de usuários e suas necessidades. Existem diversos métodos propostos para atender diferentes setores industriais. O método que será utilizado está baseado no chamado Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (PRODIP). Este método foi desenvolvido pelo Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (NEDIP), pertencente à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O modelo é dividido em nove etapas pertencentes a três macrofases: planejamento, projeção e implementação, conforme está apresentado na Figura 1.



Figura 1 – Etapas de desenvolvimento do projeto PRODIP.

Segundo Back et al. (2008), a primeira etapa, de planejamento, considera as ações para a elaboração do plano de projeto, visando orientar o desenvolvimento do produto e suas demais fases. Já, na etapa de projeção tem-se todo o desenvolvimento propriamente dito para criar o produto, ou seja, a transformação das informações de necessidades em informações técnicas detalhadas da solução proposta. Esta macrofase é composta pelas etapas de projeto informacional, conceitual, preliminar e

detalhado (BACK et al., 2008).

O projeto informacional é a fase da projeção onde são desenvolvidas as especificações de projeto definidas através dos requisitos de projeto, sendo este último originado do desdobramento dos requisitos e necessidades de usuários (FONSECA, 2000).

Já o projeto conceitual tem por objetivo desenvolver as concepções alternativas para a função de projeto. As concepções geradas são avaliadas com base em critérios técnicos e econômicos e a solução que foi devidamente selecionada seguirá para as etapas que compõem o projeto preliminar (FONSECA, 2000).

Para ilustrar melhor todas as atividades que foram executadas seguindo a método PRODIP, na Tabela 1 estão resumidos os objetivos de cada atividade, as ferramentas utilizadas tanto durante as etapas do projeto informacional quanto do conceitual, assim como, o resultado de cada uma delas.

Macrofase	Objetivo	Método	Resultados
Projeto Informacional	Definir ciclo de vida do produto	Brainstorming Pesquisa em literatura técnica	Ciclo de vida
	Definir principais interessados	Brainstorming Pesquisa em literatura técnica	Definição dos stakeholders
	Definir Necessidade dos usuários	Brainstorming Pesquisa em literatura técnica	Necessidade de usuários
	Definir Requisitos de usuários	Classificação apresentada em (FONSECA, 2000)	Requisitos de usuários, Ponderação e Classificação
	Definir requisitos de projeto	Brainstorming Pesquisa em literatura técnica	Requisitos de projeto
	Avaliação dos requisitos de projeto	Casa da qualidade	Ponderação dos requisitos de projeto
	Definição das especificações de projeto	Reunião de projeto	Especificações de projeto
Projeto Conceitual	Definição da função global do produto	Reunião de projeto	Identificação da função global de projeto com suas entradas e saídas
	Definir a estrutura de subfunções do produto	Reunião de projeto	Estabelecimento das subfunções e suas correlações de entradas e saídas
	Gerar princípios de soluções do produto	Método de criatividade (brainstorming, pesquisa de patentes, etc...)	Soluções para todas as subfunções
	Gerar possíveis concepções do produto	Combinações das soluções através da matriz morfológica	Definição das possíveis soluções
	Selecionar concepções do produto	Exame "passa ou não passa" e função mérito	Classificação das concepções e definição da mais adequada

Tabela 1- Ferramentas utilizadas no desenvolvimento do projeto.

Após todas as etapas cumpridas é possível obter um leiaute preliminar do equipamento e seguindo as demais etapas do modelo PRODIP tem-se um protótipo de uma bancada pressurizada experimental para a realização de testes.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do exposto acima é possível obter um leiaute de uma bancada para experimentos, simulando as condições do pré-sal, no qual será verificada a possibilidade da substituição das atuais brocas usadas na perfuração das camadas para a tecnologia de hidrodemolição.

Basicamente, ao desenvolver um sistema pressurizado algumas normas regulamentadoras e critérios de projeto já estabelecidos e comprovados devem ser seguidos. Desta forma é possível garantir a integridade física do equipamento e de seus usuários. Com isso, a bancada deve atender basicamente a três normas: NR12, NR 13, ASME Seção VIII.

Após analisar as características de perfuração e estudar as normas de segurança, e seguindo o método PRODIP, foi possível ter uma definição dos componentes da bancada, bem como a forma como estes serão inseridos no conjunto final. Dessa forma pode-se visualizar o leiaute mostrado na Figura 2.



Figura 2 – Leiaute da bancada inserida no sistema total

A bancada é um sistema pressurizado composto por: compartimento de corpo de prova; conexões e vedação; controle do bico de corte de jato d'água; sistema de reutilização do fluido.

Com relação ao compartimento do corpo de prova, corresponde a colocação da amostra em seu suporte, a fixação no mesmo, e o posicionamento do conjunto na bancada.

As conexões e sistemas de vedação do equipamento serão divididos em duas

partes: a primeira corresponde à forma construtiva da seção de entrada do corpo de prova e as conexões dos acessórios externos da bancada; a segunda corresponde à vedação do sistema de movimentação do bico de corte.

O sistema de movimentação do bico de corte será projetado de forma semelhante a um pistão que se desloca dentro da camisa de um cilindro hidráulico, sendo assim será usado vedações dinâmicas adequadas para esse tipo de montagem.

Todo o controle do sistema será feito através de um software para controle de máquinas CNC, no qual será possível definir taxa de avanço, tempo e distância de movimentação, dentre outros parâmetros.

Para que o fluido utilizado nos testes possa ser reusado, primeiramente deverão ser captar os detritos do corpo de prova, e isso será feito através de um sistema de peneiras instalado no fundo do vaso de pressão, de forma que os detritos se depositem ali por gravidade.

A bancada deverá possuir uma válvula de segurança ajustada para abrir na PMTA (Pressão Máxima de Trabalho Admissível). Além disso, o software utilizado para o controle do movimento vertical do bico de jato d'água terá um botão de parada de emergência, para no caso de algum imprevisto, ser imobilizado rapidamente.

A bancada em desenvolvimento será de grande valia para inovações tecnológicas na área de exploração de petróleo, com o objetivo de substituir as brocas atualmente utilizadas. Estas brocas são desgastadas com o uso e necessitam de substituições constantes. São também de alto valor agregado. A substituição pela hidrodemolição (jato d'água de alta pressão e vazão) poderia minimizar o custo da exploração, por exemplo. Além disso, o tempo de execução pode ser reduzido devido às altas taxas de avanço.

4 | CONCLUSÃO

Atualmente, a tecnologia empregada para a perfuração de poços de petróleo utiliza sistemas de brocas rotativas, existindo uma grande diversidade destas. A escolha do tipo mais adequado dependerá das características da formação rochosa, estando associado principalmente em função do grau de dureza e abrasividade que afetam fortemente no desgaste das ferramentas de corte.

Na tentativa de minimizar o desgaste nas brocas, estudos vem sendo realizados incluindo jatos d' água como elemento auxiliar, limpando o fundo do poço e cortando formações de baixa dureza.

Já, a aplicação de jato d' água pode alcançar taxas de remoção volumétrica relativamente elevadas, e com todas as características a serem levantadas foi desenvolvida uma bancada pressurizada para simular situações reais e estudar a viabilidade de substituição da broca de corte por jato d' água de alta pressão e vazão.

Os resultados dos testes permitirão a determinação da curva de resposta das

variáveis de controle, envolvendo a taxa de remoção volumétrica, a sustentabilidade das regiões vizinhas e, a profundidade de corte, com relação aos fatores de influência, temperatura e pressão. Com isto, pode-se comparar a eficiência técnica da hidrodemolição em relação às atuais tecnologias.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao MCT/FINEP pelo projeto 2020/10 e a Universidade Federal de Santa Catarina pelo laboratório oferecido para a realização das pesquisas.

REFERÊNCIAS

BACK, N. Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem. Ed. Manole, Barueri, 2008.

DUSSEAULT, M.; MAURY, V.; SANFILIPPO, F.; SANTARELLI, F. Drilling around salt: risks, stresses, and uncertainties. American Rock Mechanics Association. Texas, 2004.

FONSECA, A. J. H. Sistematização do Processo de Obtenção das Especificações de Projeto de Produtos Industriais e sua Implementação Computacional. Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

HAPNES, M. Driling in salt formations and rate of penetration modelling. Dissertação de Mestrado. Norwegian University of Science and Technology. Faculty of Engineering Science and Technology. Department of Petroleum Engineering and Applied Geophysics. 2014

ISRAEL, R.; AMBROSIO, P.; LEAVITT, A.; SHAUGHNESSY, J.; SANCLEMENTE, J. Challenges of directional drilling through salt in deepwater gulf of mexico. SPE, Society of Petroleum Engineers, 2008.

MOMBER, A. Hydrodemolition of concrete surfaces and reinforced concrete structures. Elsevier, 2005.

WILLSON, S.; FREDRICH, J. Geomechanics considerations for through and near-salt well design. SPE, Society of Petroleum Engineers, Texas, 2005.

Andressa Regina Navas

Universidade Paulista- UNIP
Bauru-Sp

Leticia Tieppo

Universidade Paulista- UNIP
Bauru-Sp

Renan Ataide

Universidade Paulista- UNIP
Bauru-Sp

Guilherme Legramandi

Universidade Paulista- UNIP
Bauru-Sp

Ludmilla Sandim Tidei de Lima Pauleto

Professora do curso de Arquitetura e Urbanismo–
Universidade Paulista –UNIP
Bauru-Sp

André Chaves

Professor do curso de Arquitetura e Urbanismo –
Universidade Paulista – UNIP

RESUMO: O Trabalho foi desenvolvido para uma proposta de revitalização do centro histórico da cidade de Bauru-Sp, estação ferroviária NOB e pátio ferroviário, a proposta engloba assuntos relacionados com patrimônios históricos, revitalização de avenidas, obras de drenagem urbana e parque urbano, esses projetos fazem parte de um planejamento de desenvolvimento urbano para a cidade de Bauru, para isso foi preciso um estudo prévio da legislação que

encontra-se nessa área, além de levantamento em campo para constatar os pontos negativos e também positivos. Após finalizar todos esses estudos, foi desenvolvido o projeto urbano para a zona central, buscando resolver os problemas relatados. Para o pátio ferroviário uma grande área em situação de abandono propõe-se um parque urbano, a revitalização de avenidas parte da intenção de valorizar o pedestre e questões ambientais, além de propor a retirada de veículos particulares dessas avenidas levando em conta a pirâmide de mobilidade, uma das propostas envolve habitações de interesse social para a realocação de famílias que vivem em zona de risco. Todas essas propostas tem como principal finalidade a melhoria e trazer novamente as pessoas para o centro urbano da cidade de Bauru-Sp. E a partir dessas soluções encontradas para os devidos problemas relatados, a intenção e de levar para outras cidades que encontra-se da mesma forma seus centros urbanos.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto Urbanos, Parque Urbano, Patrimônio Histórico.

ABSTRACT: The work was developed for a proposal to revitalize the historical center of the city of Bauru-Sp, NOB railway station and railway yard, the proposal encompasses subjects related to historical patrimories, revitalization of avenues, urban drainage works and urban park,

these projects make part of an urban development planning for the city of Bauru, for that it was necessary a previous study of the legislation that is in this area, besides a survey in the field to verify the negative and also positive points. After finishing all these studies, the urban project for the central zone was developed, seeking to solve the reported problems. For the railway yard a large area in abandonment situation is proposed an urban park, the revitalization of avenues part of the intention to value the pedestrian and environmental issues, and propose the removal of private vehicles from these avenues taking into account the mobility pyramid, one of the proposals involves housing of social interest for the relocation of families living in a risk zone. All these proposals have as main purpose the improvement and bring people back to the urban center of the city of Bauru-Sp. And from these solutions found to the due problems reported, the intention is to take to other cities it finds itself in the same way its urban centers.

KEYWORDS: Urban Design, Urban Park, Historical Patrimony.

1 | INTRODUÇÃO

O abandono de edifícios antigos e patrimônios, sejam eles reconhecidos ou não, traz como resultado a falta de empatia da população por aquilo que é parte da sua história, causando cada vez mais o desinteresse em preservar as memórias que os antigos centros podem despertar. O abandono das áreas centrais está relacionado ao crescimento desordenado das cidades, à falta de planejamento urbano adequado às realidades locais, assim como à ausência de políticas públicas voltadas ao incentivo do uso residencial nestas áreas (SOMEHK, MALTA, 2005). Em Bauru, a realidade não é diferente, a área central apresenta falta de planejamento urbano, que gera outros cinco principais problemas. Entre eles estão a deterioração de seu patrimônio histórico, a carência de mobilidade urbana, o esvaziamento noturno em função do uso atual das edificações se concentrar no comércio e serviços (uso e ocupação do solo), alagamentos e deterioração ambiental. O patrimônio histórico encontra-se abandonado e em estado de deterioração, sendo o principal problema, o relacionado a mobilidade urbana e intenso tráfego de ônibus e automóveis na Av. Rodrigues Alves. Ainda foi possível observar a falta de transporte alternativo como bicicletas e a reduzida conexão entre o Centro, Vila Falcão e Bela Vista, bairros contíguos à área central. Nas questões ambientais é praticamente inexistente a presença de arborização na região central. Por este motivo foram encontradas temperaturas elevadas (31,83°), alto nível de ruído (70 DB) e baixa umidade (48,78 h). Possuindo uma área de fundo de vale totalmente degradada.

2 | OBJETIVO

O trabalho que ora apresentamos se refere ao resultado de investigação e projeto urbano, desenvolvidos na disciplina de Projeto Urbano e Paisagismo, com o objetivo de encontrar soluções para o centro da cidade de Bauru/SP, buscando a valorização espacial e social do objeto de estudo em questão. Trata-se de área formada pelos bairros Centro, Bela Vista e Falcão, onde a cidade teve seu início. O objetivo principal foi desenvolver projeto de intervenção urbana sustentável através da recuperação do centro histórico da cidade, religando-o à dinâmica urbana local e de implantação de equipamento de lazer.

3 | RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Não se pode deixar de destacar que mesmo em meio a tantos problemas a área em estudo apresenta grande parte da história de Bauru, pois foi ali que a cidade se desenvolveu impulsionada pelas três estradas de ferro que aqui se estabeleceram: Estrada de Ferro Sorocabana, Estrada de Ferro Noroeste do Brasil e Companhia Paulista de Estradas de Ferro. A inauguração da estação ferroviária, em 1939, até hoje edifício de referência, consolida ainda mais seu caráter ferroviário e marca a história da área central (GHIRARDELLO, 1999). Com a substituição do transporte ferroviário pelo modal rodoviário e a, conseqüente, decadência as estradas de ferro no Brasil nos anos 1990, a área central entrou em processo de degradação, incluindo abandono de seu patrimônio e falta de investimentos por parte do poder público. Por esse motivo a revitalização da área central não prevê apenas resolver os problemas urbanos levantados pelo estudo, mas sim, devolver à população sua história e espaços de convivência e lazer através do projeto de um parque urbano no pátio ferroviário.

4 | DESENVOLVIMENTO

O estudo e realizado se desenvolveu através de estudos bibliográficos e levantamento de campo dos bairros em questão. Dentre os dados inclusos no levantamento estavam o histórico da área, sistemas de gestão pública, ambiental, uso do solo, mobilidade, infraestrutura disponível, assim como sistema econômico. Através da análise das informações foram diagnosticados problemas que a área apresenta e traçadas diretrizes de intervenção. Num segundo momento, desenvolveu-se o projeto de intervenção urbana visando a solução dos problemas encontrados e a realocação da área de estudo na dinâmica urbana atual.

5 | RESULTADOS

A proposta de revitalização do centro histórico de Bauru e bairros adjacentes está dividida em cinco fases.



Imagem 1 – Proposta primeira e segunda fase do projeto

A primeira fase inclui propostas de drenagem urbana, com aumento de áreas permeáveis, arborização e implantação de elementos de drenagem em toda a área estudada, com o objetivo de reduzir a quantidade de água escoada para o Pátio Ferroviário e a Av. Rodrigues Alves. A segunda fase prevê a retirada dos automóveis da citada avenida, priorizando o transporte público (ônibus), bicicletas e pedestres. Para isso seria necessária a modernização do sistema de transporte para a realidade atual da cidade, além da implantação de um terminal aberto na Praça Machado de Mello, que voltaria à sua função original de largo.



Imagem 2 – Proposta terceira e quarta fase do projeto

A terceira e quarta fases propõem o aumento da densidade populacional noturna através do incentivo a implantação de HIS (habitação de interesse social) e do uso misto, reutilizando construções abandonadas e patrimônios históricos degradados. Inclui, também, a regulamentação de alguns instrumentos do Estatuto da Cidades para colocar em prática tais propostas. As questões ambientais estão intimamente ligadas às propostas anteriores, pois estas promoverão a redução de resíduos da construção e o aproveitamento de toda infraestrutura existente.



Imagem 3 – Proposta quinta fase do projeto implantação parque urbano

A quinta e última fase propõe a implantação de parque urbano na área do pátio ferroviário com a preservação das linhas férreas principais, permitindo assim a manutenção do transporte sobre trilhos, do patrimônio arquitetônico ali existente e a implantação de equipamentos de lazer, contribuindo também com o conforto ambiental urbano. O parque aumentará a quantidade de área verde por habitante e melhorará a qualidade do ar, diminuindo a temperatura, aumento da permeabilidade do solo e diminuindo os ruídos. Foi considerada, também, para a implantação deste equipamento, a recuperação da vegetação como ferramenta de reabilitação ambiental, utilizando espécies nativas dos biomas de cerrado e mata atlântica, como: ipê amarelo, copaíba e goiabeira. As espécies nativas somam diversos benefícios, por exemplo, a manutenção simples, adaptação ao local, abrigo e alimento que garantem a diversidade da fauna. O uso de painéis de energia fotovoltaica faz parte da proposta de um parque sustentável, pois utilizará energia limpa para seu funcionamento.



Imagem 4- Visão geral projeto proposto estação NOB com parque urbano e praça machado de Mello.



Imagem 5 – Vista com proposta do largo e estação ferroviária NOB.

6 | CONCLUSÃO

As áreas centrais da cidade precisam ser reinseridas na dinâmica urbana local para que possam ser efetivamente recuperadas e seus patrimônios e identidades locais preservados.

REFERÊNCIAS

BONDUKI, Nabil. *Intervenções urbanas na recuperação de Centros Históricos*. Brasília, DF: Iphan/Monumenta, 2010. Capítulo 8, Habitação social nos núcleos urbanos.

GHIRARDELLO, N. *Á Beira da Linha. Formações Urbanas da Noroeste Paulista*. Tese de Doutorado, 1999. Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 1999.

PRINZ, D. *Urbanismo I: projecto urbano*. Lisboa, Presença, 1980.

SOMEHK, N., CAMPOS NETO, C.M. Desenvolvimento local e projetos urbanos. *Vitruvius*, abr. 2005. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.059/470>. Acesso em: abril, 2017.

VILLAÇA, Flávio. *Espaço intra-urbano no Brasil*. S. Paulo: Nobel, 1998

AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DE AFERIÇÃO DO TEOR DE UMIDADE EM PEÇAS DE MADEIRA DE DIMENSÕES REDUZIDAS

João Miguel Santos Dias

Faculdade Sudoeste - UNIGRAD/Engenharia Civil
Vitória da Conquista – Bahia

Florêncio Mendes Oliveira Filho

Centro Universitário Estácio da Bahia/Engenharia Civil
Salvador – Bahia

Alberto Ygor Ferreira de Araújo

Universidade Federal da Bahia/Faculdade de Arquitetura
Salvador – Bahia

Sandro Fábio César

Universidade Federal da Bahia/ Departamento de Construção e Estruturas
Salvador – Bahia

Rita Dione Araújo Cunha

Universidade Federal da Bahia/Núcleo de Tecnologia, Projeto e Planejamento
Salvador – Bahia

RESUMO: A influência do teor de umidade nas propriedades físicas e mecânicas da madeira é um aspecto relevante que deve ser considerado durante a fase de concepção e de execução das estruturas, podendo interferir no seu desempenho global, sobretudo quando se recorre aos adesivos estruturais. Neste contexto a aferição do teor de umidade da madeira é uma etapa de extrema importância. O objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade da utilização

de dois tipos de medidores elétricos para determinação do teor de umidade em peças de madeira de dimensões reduzidas. Foram aferidos os teores de umidade em 18 corpos-de-prova (CPs) de Citriodora (*Corymbia Citriodora*) e Maçaranduba (*Manilkara spp*) através de medidor capacitivo, medidor resistivo e ensaio gravimétrico. O medidor capacitivo forneceu medições de teor de umidade mais próximos dos valores obtidos pelo método gravimétrico para CPs de madeira de alta densidade e com teor de umidade em equilíbrio ao ar. A variação do comprimento dos CPs não influenciou os resultados dos medidores elétricos.

PALAVRAS-CHAVE: estruturas de madeira, teor de umidade, métodos de medição, comparação.

ABSTRACT: The influence of moisture content in physical and mechanical properties has an important role in the conception and construction of sawn timber structures, as it becomes one of the most important factors in production of glued joints. Therefore, moisture content measuring is an extremely important procedure. The aim of this work is to assess the viability of the use of two types of electric moisture meters in small dimension sawn timber specimen. The moisture content was obtained in eighteen samples of Citriodora (*Corymbia Citriodora*) and Maçaranduba (*Manilkara spp*)

by using a capacitive moisture meter, a resistive moisture meter and the gravimetric moisture content method. The capacitive moisture meter showed results similar to the gravimetric moisture content method and the equilibrium moisture content for the high density timber specimens. The specimen length did not affect the results obtained from de electric moisture meters.

KEYWORDS: timber structures, moisture content, measuring methods, comparison.

1 | INTRODUÇÃO

A influência do teor de umidade nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, para valores abaixo do ponto de saturação das fibras (OLIVEIRA e SILVA, 2003; LOBÃO *et al.*, 2004), é um aspecto relevante que deve ser considerado durante a fase de concepção e de execução das estruturas de madeira. Esse fator poderá interferir no desempenho global da estrutura, sobretudo quando se recorre à madeira engenheirada composta por adesivos estruturais, podendo comprometer a qualidade da colagem e, conseqüentemente, reduzir a capacidade de carga da estrutura. Segundo Donato *et al.* (2014), a aferição do teor de umidade da madeira é uma etapa que assume um papel fundamental na previsão do comportamento físico e mecânico do material. Além disso, a utilização de peças de madeira com teor de umidade adequado, poderá evitar o surgimento de patologias inerentes à biodeterioração que poderão comprometer o desempenho da estrutura (BRITO, 2014). De forma análoga à aferição das propriedades do concreto durante a fase de execução, a determinação do teor de umidade da madeira deverá ser realizada no momento do recebimento da madeira em obra (RODRIGUES e SALES, 2002).

A aferição do teor de umidade poderá ser realizada através de vários métodos. O método tradicional ou gravimétrico consiste na introdução de corpos-de-prova (CPs) com dimensões padronizadas em uma estufa com temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$, até que se obtenha uma massa constante (variação inferior a 5%). Este método está previsto na norma ABNT NBR 7190:1997: *Projeto de estruturas de madeira*. e seus resultados são considerados como mais exatos, no entanto requer mais tempo para a determinação do teor de umidade (DONATO *et al.*, 2014), além de necessitar de mais equipamentos (estufa e balança). Segundo Carvalho (2010), o teor de umidade da madeira também poderá ser aferido através do emprego da metodologia de microondas. Este processo consiste na emissão de ondas eletromagnéticas através da madeira e, relacionando as propriedades dielétricas da madeira com a frequência das ondas absorvidas, é possível obter o teor de umidade da madeira. Os resultados são obtidos rapidamente e envolvendo um baixo custo de investimento, no entanto, segundo Donato *et al.* (2014), este método ainda se encontra pouco desenvolvido.

A medição do teor de umidade também poderá ser realizada através de medidores elétricos capacitivos ou resistivos (CRISÓSTOMO, GOUVEIA e COSTA,

2016). Segundo Rodrigues (1999), os medidores elétricos resistivos são semelhantes a ohmímetros, sendo que o seu princípio de funcionamento se baseia na medição a resistência elétrica da peça de madeira, medida entre duas agulhas (eletrodos) que são cravadas na madeira. Uma vez que a madeira e a água apresentam valores de resistência elétrica opostos, o valor de teor de umidade será obtido em função da presença de água (baixa resistência elétrica) na peça. Os medidores elétricos capacitivos possuem placas (eletrodos) que emitem um campo elétrico em um material que esteja em contato com estas. A aferição do teor de umidade, dependente das propriedades dielétricas do material, é realizada em função da medição da quantidade de energia acumulada na madeira (RODRIGUES, 1999). A medição do teor de umidade através de medidores elétricos poderá sofrer interferências causadas pela direção das fibras da madeira, temperatura, profundidade de cravação dos eletrodos (CALONEGO *et al.*, 2006), presença de tratamentos preservativos (CARVALHO, 2010), força de pressão das placas de contato, intensidade da corrente elétrica emitida, natureza dos eletrodos e dimensões das peças (GALINA, 1997).

As dimensões das peças de madeira constituem um fator determinante para a determinação do método de aferição do teor de umidade. Este fato encontra fundamento na distribuição da umidade no interior da peça: em peças com pequena espessura, a umidade no interior da peça tem uma distribuição uniforme (RODRIGUES, 1999), enquanto que, quanto maior for a espessura da peça, maior será o gradiente de umidade (GALINA, 1997) e, portanto, mais evidentes serão as diferenças de umidade entre o interior e a camada superficial da seção transversal da peça. Skaar (1988) refere que, para peças com espessura reduzida, a utilização de medidores elétricos capacitivos (com eletrodos em formato de placas) são os mais indicados. James (1988) também recomenda a utilização de medidores resistivos (eletrodos em formato de agulhas) para peças com baixo gradiente de umidade. No caso de peças de madeira com largura limitada, surge a necessidade de avaliar qual o melhor medidor elétrico para aferir o teor de umidade. Por conseguinte, este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da utilização de dois tipos de medidores elétricos para determinação do teor de umidade em peças de madeira de dimensões reduzidas.

2 | METODOLOGIA

Este decorreu na cidade de Salvador – BA , sendo que o teor de umidade de equilíbrio ao ar é igual a 18%, o que corresponde à classe 3 de umidade da norma ABNT NBR 7190:1997. Foram utilizados dois tipos de medidores elétricos: um capacitivo (marca Digisystem, modelo DUC 2050) e outro resistivo (marca Digisystem, modelo DL 2000). O medidor elétrico capacitivo tem uma placa com área (52,0 x 72,0) mm², através da qual é realizada a medição do teor de umidade e, segundo o fabricante, o equipamento é indicado para utilização em peças com espessuras entre 20 mm e

50 mm e densidades entre 350 kg/m³ e 999 kg/m³. O medidor elétrico resistivo possui dois eletrodos com 25,4 mm (1 polegada) de comprimento, sendo que, segundo o seu fabricante, a penetração na madeira deverá ser realizada de forma a que a distância entre os dois eletrodos seja perpendicular à direção das fibras. A perfuração deverá atingir cerca de 8,5 mm de profundidade de peças de madeira até 50,8 mm (2 polegadas), a uma distância mínima de 300 mm do topo da peça (medidos na direção das fibras), devendo ser respeitada a distância mínima de 30,0 mm em relação à borda lateral da peça. Para o método gravimétrico, foi seguida a metodologia prescrita pela norma ABNT NBR 7190:1997, com medição das massas de 8 em 8 horas, devido à disponibilidade do laboratório. As massas dos CPs foram obtidas através de balança de precisão da marca BEL e modelo L2102i.

Foram utilizadas duas espécies de madeira: Citriodora (*Corymbia Citriodora*) e Maçaranduba (*Manilkara spp*), cedidas pelas empresas CM Venturoli e Madeireira Victória, respectivamente. Segundo a norma ABNT NBR 7190:1997 e considerando os valores para teores de umidade de referência (12%), a densidade aparente média da Citriodora é de 999 kg/m³, enquanto que a Maçaranduba possui 1143 kg/m³. A escolha destas espécies foi justificada pelo fato da sua utilização corrente no estado da Bahia (DIAS, 2015). A Maçaranduba sofreu a incidência direta da chuva no momento da sua entrega, o que implicou na necessidade de estocar esta madeira em local ventilado e protegido das intempéries durante um período de 3 semanas. No caso da Citriodora, os CPs já se encontravam estocados na carpintaria da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia pelo um período de 7 anos. Os CP's de Citriodora (série E) e de Maçaranduba (série M) apresentaram seção transversal de (35,0 x 35,0) mm², sendo os seus comprimentos variáveis: 330,0 mm para as séries E1 e M1; 378,0 mm para as séries E2 e M2; 426,0 mm para as séries E3 e M3. Estas dimensões foram adotadas no âmbito do trabalho de Dias (2015), o qual realizou a caracterização mecânica de ligações entre madeira e barras de aço rosqueadas de pequenas dimensões coladas com epóxi. Foram utilizados 6 CP's por cada série.

A medição do teor de umidade com o medidor elétrico capacitivo foi realizada em dois blocos simultaneamente, devido ao fato da largura da placa do aparelho (52,0 mm) ser superior à largura de um CP, o que poderia implicar em teores de umidade irreais. Foi realizada uma medição por cada face do CP, totalizando quatro medições, sendo o valor do teor de umidade obtido através da média aritmética. Para verificar a variação do teor de umidade ao longo do tempo, realizaram-se medições no dia 0, 15 e 25 dias. Uma vez que era necessário preservar a integridades dos CPs com vista à sua caracterização mecânica, o método gravimétrico e o medidor resistivo foram utilizados somente ao 25º dia. Para tal, procedeu-se ao corte dos CPs em 3 partes, sendo o trecho central de cada CP destinado à determinação do teor de umidade com o medidor capacitivo. Posteriormente, foi retirada uma parte do trecho central do CP para determinação do teor de umidade através do método gravimétrico conforme a norma ABNT NBR 7190:1997. Uma das extremidades restantes de cada CP foi

utilizada na determinação do teor de umidade através do medidor resistivo, devido à necessidade de avaliar as condições de colagem das barras.

3 | RESULTADOS

O Gráfico 1 apresenta os valores referentes à estatística descritiva dos teores de umidade obtidos através do medidor capacitivo (U_cont) aos 0, 15 e 25 dias para os CP's de Citriodora e Maçaranduba. Na mesma Tabela também é possível encontrar os valores referentes às medições realizadas através do medidor resistivo (U_perf) e do método gravimétrico (U_ensaio), ambas realizadas aos 25 dias.

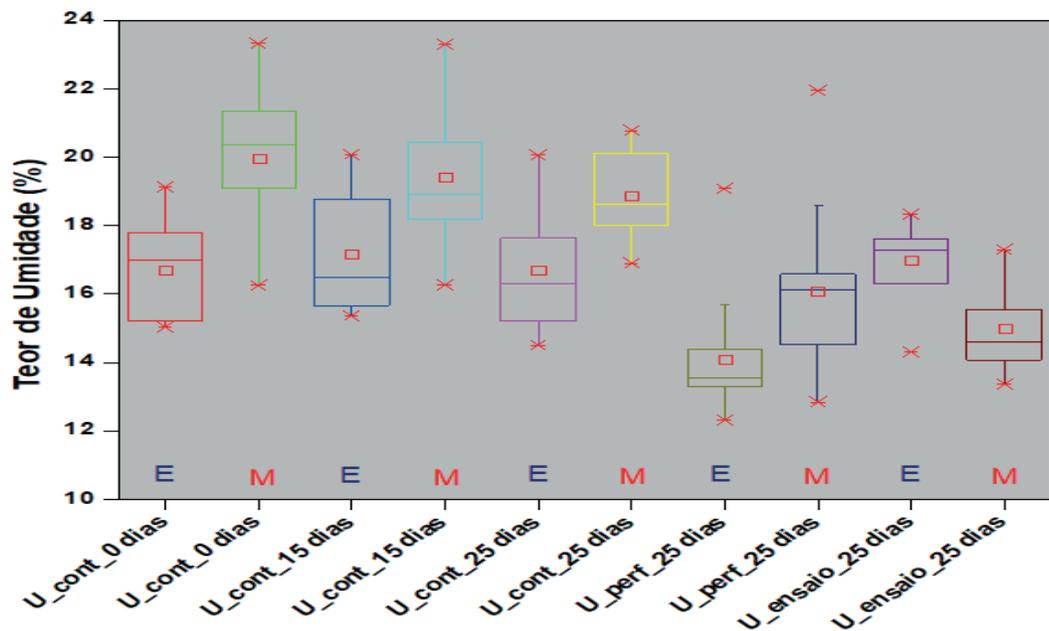


Gráfico 1 – Gráfico *box plot* dos valores obtidos com os medidores elétricos e ensaio.

Fonte: os autores.

Para a Citriodora, é possível verificar que os valores obtidos através do medidor capacitivo variaram entre 14,06% e 20,08%. O medidor resistivo apresentou valores entre 12,31% e 15,68% e, através do método gravimétrico, foram registrados valores entre 14,30% e 18,33%. Para a Maçaranduba, o medidor capacitivo apresentou valores entre 16,25% e 23,33%, enquanto que o medidor resistivo apresentou valores mais baixos (entre 12,84% e 18,58%) e o método gravimétrico forneceu valores entre 13,36% e 17,29%. Os Gráficos 2 e 3 apresentam os valores de teor de umidade de cada CP obtidos através do medidor capacitivo para os instantes 0 dias (número dos CP's de 1 a 6), 15 dias (número dos CP's de 7 a 12) e 25 dias (número dos CP's de 13 a 18), para as séries de Citriodora e de Maçaranduba. A série E1 apresentou valores entre 14,49% e 18,77%, a série E2 apresentou valores entre 15,01% e 20,08%, sendo que a série E3 apresentou valores entre 15,66% e 20,06%. Em relação aos CPs de Maçaranduba, foram registrados valores entre 18,01% e 20,55% para a série M1,

20,09% e 23,33% para a série M2 e, para a série M3, 16,25% e 19,08%.

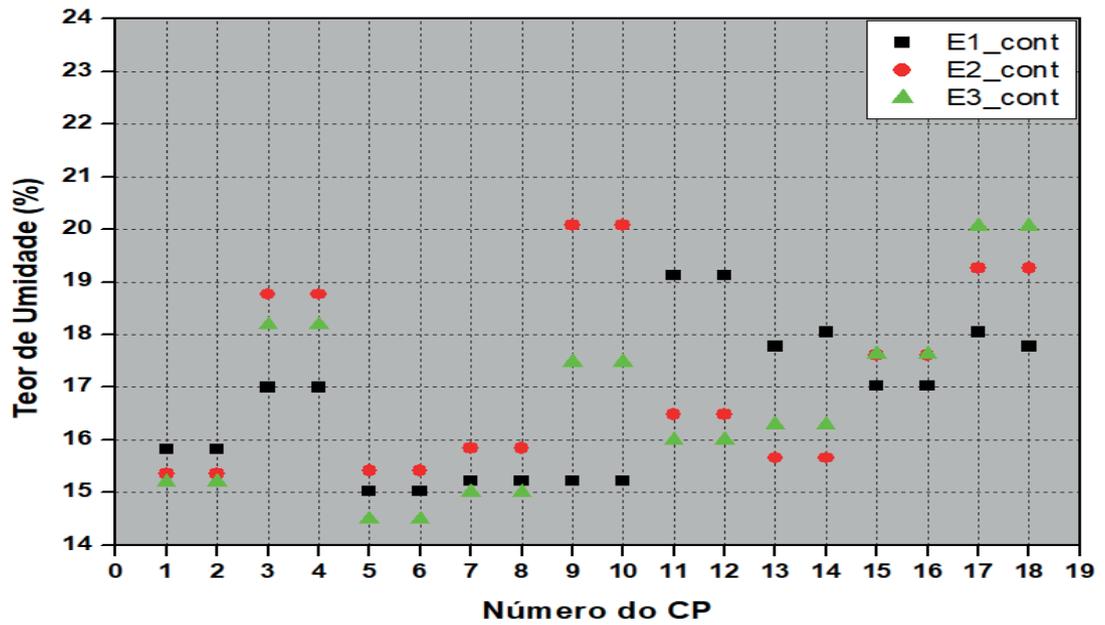


Gráfico 2 – Teores de umidade obtidos com o medidor capacitivo - Citridora.

Fonte: os autores.

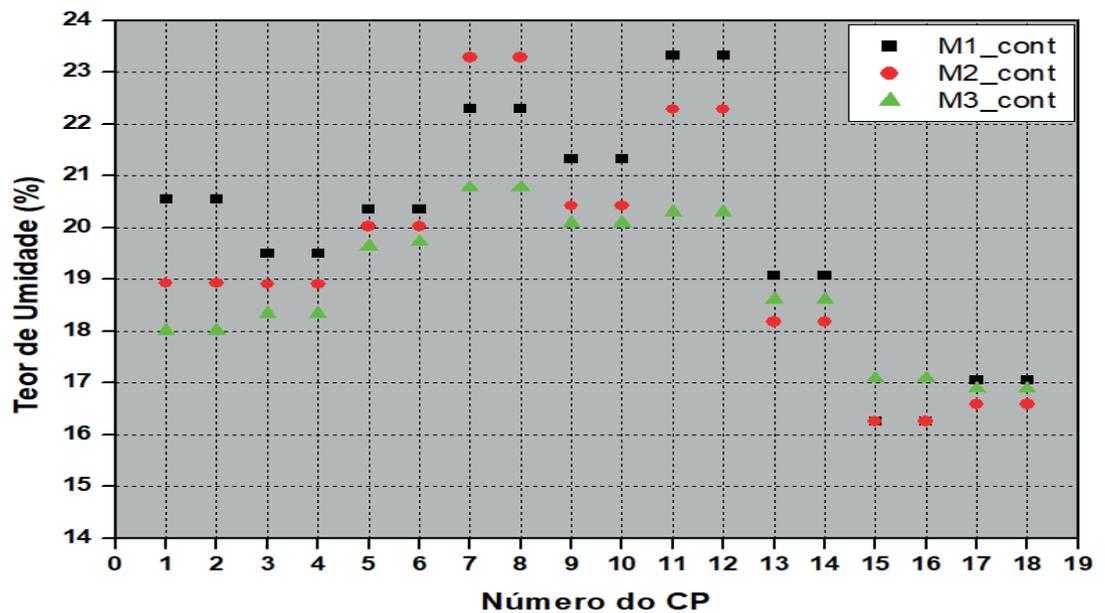


Gráfico 3 – Teores de umidade obtidos com o medidor capacitivo - Maçaranduba.

Fonte: os autores.

4 | DISCUSSÃO

Uma vez que o Gráfico 1 apresenta valores médios das medições dispersos, foram calculados os coeficientes de variação obtidos para as medições realizadas através dos medidores elétricos e método gravimétrico (Tabela 1). É possível verificar que, à exceção à medição através do medidor resistivo na Maçaranduba (16,84%), os

demais coeficientes de variação indicam que existe baixa dispersão dos resultados. A análise do coeficiente de correlação Pearson é viabilizada pela baixa variabilidade dos dados obtidos através do medidor capacitivo (Tabela 2). É possível verificar que, no caso da Citriodora, apenas a relação entre *U_cont_15 dias* e *U_cont_25 dias* se apresenta como forte, sendo as demais consideradas fracas ou desprezíveis. Para a Maçaranduba, as correlações obtidas são fortes.

Dos resultados de correlação é possível afirmar que não houve variação significativa do teor de umidade na Citriodora, enquanto que a Maçaranduba apresentou uma tendência para o decréscimo do teor de umidade. Estes fenômenos podem ser justificados pelo fato da Citriodora ter sido armazenada durante 7 anos e, conseqüentemente, ter atingido o teor de umidade de equilíbrio ao ar. No caso da Maçaranduba, a incidência da chuva aumentou o teor de umidade superficial dos CPs, que foi gradualmente diminuindo devido à secagem.

	Séries					
	E1	E2	E3	M1	M2	M3
U_cont_0 dias	0,06	12,18	0,03	2,47	0,04	7,46
U_cont_15 dias	10,56	11,69	9,20	2,97	5,90	5,39
U_cont_25 dias	10,98	6,87	9,50	4,24	1,53	4,79
U_perf_25 dias	5,74	10,25	13,51	7,27	16,84	11,11
U_ensaio_25 dias	5,92	11,63	3,95	7,26	10,65	4,37

Tabela 1 – Coeficientes de variação (%) das medições por série.

Fonte: os autores.

	Citriodora	Maçaranduba
U_cont_0 dias x U_cont_15 dias	0,08	0,95
U_cont_0 dias x U_cont_25 dias	0,42	0,90
U_cont_15 dias x U_cont_25 dias	0,84	0,95

Tabela 2 – Coeficientes de correlação de Pearson para influência do tempo.

Fonte: os autores.

Para analisar a influência do comprimento dos CPs nos valores de teor de umidade obtidos através dos medidores capacitivos, é possível recorrer aos Gráficos 2 e 3, assim como aos coeficientes de correlação de Pearson (Tabela 3). Como é possível constatar tanto pelos Gráficos 2 e 3, como pela Tabela 3, não é possível afirmar que existe uma relação clara entre o aumento do comprimento do CP e as medições realizadas com o medidor capacitivo. Os valores das séries com os maiores e menores CPs deveriam apresentar os valores extremos. Por outro lado, a Tabela 3 deveria apresentar correlações fortes (entre 0,7 e 0,9) ou muito fortes (entre 0,9 e 1,0), o que não se verifica para todas as relações, sendo que, algumas delas, as correlações chegam a ser positivas e negativas, representando situações fisicamente

antagônicas.

	E1 x E2	E1 x E3	E2 x E3	M1 x M2	M1 x M3	M2 x M3
U_cont_0 dias	-0,81	-0,88	0,48	0,75	0,83	0,26
U_cont_15 dias	0,99	0,06	0,19	0,18	-0,34	0,86
U_cont_25 dias	0,83	-0,34	0,24	-0,40	-0,73	0,92

Tabela 3 – Coeficientes de correlação de Pearson para influência do comprimento do CP.

Fonte: os autores.

Para a comparar os valores obtidos pelos medidores elétricos com o método gravimétrico, construiu-se a Tabela 4, que permite visualizar a diferença entre os teores de umidade obtidos para cada uma das séries de CPs. É possível constatar que, para a Citriodora, o medidor capacitivo forneceu teores de umidade mais próximos dos que foram obtidos com o método gravimétrico, no entanto, no caso da Maçaranduba, o medidor resistivo obteve melhores resultados. Os valores obtidos através do medidor capacitivo são mais próximos do que os teores de umidade obtidos pelo medidor resistivo, pela possibilidade da cravação dos pinos não ter sido realizada até à profundidade recomendada devido à alta densidade da Citriodora. O fato da superfície da Maçaranduba se encontrar úmida poderá ter influenciado a leitura do medidor capacitivo, não acontecendo o mesmo com o medidor resistivo, porque este penetra até às camadas que estão subjacentes à parte úmida da Maçaranduba, fazendo leituras de teor de umidade em pontos mais secos do que na superfície.

	E1	E2	E3	M1	M2	M3
U_ensaio_25 dias	17,41	16,48	17,05	15,41	15,56	14,00
U_cont_25 dias	15,96	15,92	18,00	18,68	20,39	17,53
U_perf_25 dias	13,32	13,84	15,14	16,47	17,48	14,31
Diferença (U_cont_25 dias x U_ensaio_25 dias)	-8,33	-3,40	5,57	21,22	31,04	25,21
Diferença (U_perf_25 dias x U_ensaio_25 dias)	-23,49	-16,02	-11,20	6,88	12,34	2,21

Tabela 4 – Diferenças de teores de umidade (%) dos três métodos para cada série.

Fonte: os autores.

5 | CONCLUSÃO

Foi possível verificar que o medidor capacitivo forneceu medições de teor de umidade mais próximos dos valores obtidos pelo método gravimétrico para CPs de madeira de alta densidade, cujo gradiente de umidade seja reduzido, isto é, que a peça já esteja no teor de umidade em equilíbrio ao ar. A variação do comprimento dos CPs não apresentou influência nos resultados obtidos para os medidores elétricos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Projetos de estruturas de madeira – NBR 7190. Rio de Janeiro: 1997.
- BRITO, L. D. Patologia em estruturas de madeira: Metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação. Tese. São Carlos, SP: Escola de Engenharia São Carlos da Universidade de São Paulo: 2014.
- CALONEGO, F. W. *et al.* Avaliação do teor de umidade da madeira de *eucalyptus grandis* por medidores elétricos resistivos. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 18, n. único, p. 71-78, 2006.
- CARVALHO, L. D. Medição do teor de umidade em materiais de construção. Dissertação. Porto: Universidade do Porto, 2010.
- CRISÓSTOMO, M. C.; GOUVEIA, F. N.; COSTA, A. F. Relação entre o teor de umidade e a constante dielétrica de espécies de madeira da amazônia durante o processo de secagem. **Revista Árvore**. v.40, n.1, p.181-187, 2016.
- DIAS, J. M. S. Ligações estruturais com barras de aço coladas com epóxi em madeiras de alta densidade - influência dos defeitos da madeira e dos erros de produção na resistência mecânica. Dissertação (Mestrado). Salvador, BA: Universidade Federal da Bahia, 2015. 218 p.
- DONATO, D. B. *et al.* Determinação da umidade da madeira em tora por diferentes métodos. **Pesquisa Florestal Brasileira**. 34 (80), p.449-53, 2014.
- GALINA, I. C. M. Variação da resistência elétrica em madeiras visando o agrupamento de espécies. Dissertação. Piracicaba, SP: Escola Superior de Agronomia da Universidade de São Paulo:1997.
- LOBÃO, M. S.; LÚCIA, R. M. D.; MOREIRA, S. S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. Viçosa: **Revista Árvore**, v.28, n.6, p.889-894, 2004.
- OLIVEIRA, J. T. da S.; SILVA, J. de C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. Viçosa: **Revista Árvore**, v.27, n.3, p.381-385, 2003.
- RODRIGUES, W.; SALES, A. Determinação do teor de umidade em madeiras por meio de medidores elétricos. Dissertação. São Carlos, SP: Escola de Engenharia São Carlos da Universidade de São Paulo: 1999.
- RODRIGUES, W.; SALES, A. Medidas elétricas para determinação do teor de umidade da madeira. **Madeira Engenharia e Arquitetura**. n. 8, 2002.

NOVA TÉCNICA DE ESCAVAÇÕES DE MICROTÚNEIS: ANÁLISE DE DESLOCAMENTOS NO MACIÇO DE SOLO UTILIZANDO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Lidiani Cristina Pierri

Faculdade Estácio de Sá
São José – SC

Rafael Pacheco dos Santos

Faculdade Estácio de Sá
São José – SC

Jair José dos Passos Junior

Faculdade Estácio de Sá
São José – SC

Wagner de Sousa Santos

Faculdade Estácio de Sá
São José – SC

Marcos Aurélio Marques Noronha

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis – SC

RESUMO: O crescimento populacional gerou crescentes demandas por infraestrutura e a necessidade de explorar o espaço subterrâneo, permitindo o desenvolvimento da sociedade moderna. No entanto, nos países em desenvolvimento, a infraestrutura subterrânea ainda é relativamente precária e o método comumente usado para realizar microtúneis em solos depende de escavações manuais. No entanto, se não forem corretamente executados, essas obras podem apresentar vários problemas e até causar colapsos durante sua execução. Por outro lado, o equipamento mecanizado é extremamente caro. Este cenário

apresenta um ambiente favorável à inovação, que pode ocorrer pela introdução de um grau de mecanização na técnica de escavação manual, proporcionando segurança e redução no tempo de execução de forma simplificada e com baixos custos, apresentando à sociedade uma técnica adequada para a realidade dos países em desenvolvimento. O presente trabalho introduz uma nova técnica de escavação de microtúneis em solo na qual emprega cabos de tração presos a uma couraça e uma placa metálica. Uma análise do recalque no solo causado pela movimentação do equipamento durante a escavação foi estudada utilizando elementos finitos por meio do software MIDAS/GTS, demonstrando uma redução de recalque nos solos quando comparado às escavações manuais em cerca de 85%. Isto reflete em uma solução racional para seu avanço e elimina a necessidade de utilização de revestimentos de alta resistência. Portanto, como resultado, o artigo apresenta uma abordagem inovadora para o processo executivo de microtúneis por meio de um equipamento de escavação semi-mecanizado, com características vantajosas em relação à forma do túnel, o sistema de avanço, a segurança e a qualidade geral da obra de escavação.

PALAVRAS-CHAVE: Infraestruturas subterrâneas. Escavação em solo. Engenharia de túneis.

ABSTRACT: Population growth has generated increasing demands for infrastructure and the need to explore underground space allowing the development of modern society. However, in developing countries, underground infrastructure is still relatively precarious and the method commonly used to perform microtunnels in soils relies on manual excavations. Nevertheless, if not properly executed, these works can present several problems and even cause collapses during its execution. On the other hand the mechanized equipment is extremely costly. This scenario presents a favorable environment for innovation in which can take place through the introduction of a degree of mechanization into the manual excavation technique, providing safety and reduction in execution time in a simplified way and with low costs, presenting to society an appropriate technique to the developing countries reality. An analysis of the soil settlement caused by the motion of the equipment during the excavation was studied using finite elements methods with the software MIDAS/GTS, demonstrating a reduction of soil settlement when compared to the manual excavations in about 85%. This reflects on a rational solution to its advancement and eliminates the need to use linings with high strength. Therefore, as a result, the article presents an innovative approach to the microtunnel executive process through semi-mechanized excavation equipment, with advantageous characteristics regarding tunnel shape, advance system, safety and overall quality of the tunnel.

KEYWORDS: Underground infrastructure. Soil Excavation. Tunnel Engineering.

1 | INTRODUÇÃO

Por centenas de milhares de anos a ocupação antrópica se restringiu basicamente ao espaço bidimensional da superfície terrestre. Porém, com o crescimento populacional houve a necessidade de exploração da terceira dimensão tanto para cima, com a verticalização das edificações, quanto para baixo, com uso de túneis para transporte e serviços utilitários. O uso do espaço subterrâneo tornou-se fundamental na execução de infraestruturas que permitem o desenvolvimento da sociedade moderna. Atualmente, uma grande variedade de estruturas subterrâneas é utilizada para melhorar a qualidade de vida das pessoas, tanto nas grandes cidades quanto fora delas. Independente da aplicação, a utilização do espaço subterrâneo geralmente tem o propósito de aliviar impactos negativos no ambiente sobre a superfície (STERLING, 2002).

Segundo Broere (2015), nos países em desenvolvimento, a infraestrutura é relativamente precária, enfrentando problemas como grandes congestionamentos de veículos, alto nível de ruído e poluição, inundações, atropelamentos, entre outros. O cenário tende a piorar devido ao crescimento da população urbana previsto para as próximas décadas. Isto acarretará em mudanças, forçando novas exigências sobre as funções que a cidade deverá fornecer para proporcionar a melhoria contínua no desenvolvimento urbano sustentável e eficiente (BROERE, 2015).

Muitas são as aplicações do espaço subterrâneo: infraestruturas que são difíceis,

impossíveis, ambientalmente indesejáveis ou menos rentáveis para serem instaladas na superfície; estacionamentos; passagem de pedestres, ciclistas, motocicletas, veículos, entre outros. Além disso, os túneis podem servir de abrigo contra condições nocivas ao ser humano, pois fornecem proteção mecânica, acústica e térmica (GODARD, 2002).

Entretanto, os custos impõem uma barreira importante para o desenvolvimento do espaço subterrâneo urbano. Apesar de progressos importantes no conhecimento e nos métodos de construção, os custos de obras no subsolo ainda são considerados mais elevados em comparação com construções na superfície. Esta diferença fica ainda mais expressiva quando o método construtivo envolve equipamentos mecanizados, de alta tecnologia, que exigem profissionais altamente capacitados (GODARD, 2004).

A Engenharia de Túneis moderna dispõe de técnicas, equipamentos e recursos classificados como Métodos Não Destrutivos (MND) sem impactar negativamente a superfície durante a construção (LI et al., 2017). Em situações onde a escavação não pode causar dano na superfície, seja por localizar-se em áreas de grande fluxo de uma cidade ou por não haver espaço suficiente na superfície, os MND apresentam-se como a única alternativa. Dentre tais métodos, os mais utilizados para construções de microtúneis em solo são a Escavação Horizontal Direcional (HDD - Horizontal Directional Drilling), a escavação mecanizada por Pipe jacking, e a escavação manual. Enquanto que na escavação horizontal a obra pode ser iniciada diretamente da superfície sem necessidade de poço de ataque, o pipe jacking necessita de um poço de ataque inicial e final para entrada e saída do equipamento, e na escavação manual pode ou não haver tal estrutura.

Além do método construtivo, as técnicas supracitadas também diferenciam-se entre si pela utilização de seus revestimentos. Na técnica de pipe jacking o revestimento é empurrado enquanto que na HDD a tubulação é puxada. Ambas exigem altas resistências do material. Já na escavação manual, o revestimento é composto por chapas metálicas montadas manualmente. Outra diferença é que tanto a escavação horizontal quanto a técnica de pipe jacking utilizam equipamentos especialmente projetados para as atividades de escavação, exigindo, dessa forma, um maior investimento financeiro e mão-de-obra especializada para a sua utilização.

Tal fato faz com que diversos empreendimentos de médio e pequeno porte em países em desenvolvimento optem pelo método de escavação manual. Como o método de escavação manual é fortemente dependente de conhecimentos empíricos e atividades de tratamento de solo para a garantia de segurança, diversos problemas de construção têm sido registrados em obras realizadas no país. Essa realidade tem ocorrido em algumas obras de microtúneis em Santa Catarina, onde se pode citar, por exemplo, colapsos durante a execução de obras nas cidades de Brusque, Itapema e Florianópolis, conforme mostra a Figura 1.

Entretanto, tais obras, mesmo com valores na faixa de R\$ 1 a 3 milhões, com extensões menores que 100 m, têm recorrentemente apresentado sérios problemas

de execução, colocando em risco vidas humanas, a infraestrutura existente e a própria situação das empresas executoras (NORONHA, 2012).



Figura 1 – Problemas com escavação manual em Santa Catarina entre 2012 e 2014.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Com base na constatação das grandes demandas e dos problemas na utilização das técnicas atuais, observa-se que o desenvolvimento de uma solução de baixo custo que garanta o mínimo de segurança e introduza técnicas que incrementem a produtividade poderá impactar positivamente no dispêndio financeiro, na segurança e na qualidade técnica dessas obras.

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um conceito de uma técnica de escavação de microtúneis que proporcione segurança e maior produtividade no processo de escavação especificamente voltado às obras de pequeno porte.

Para finalizar, uma análise de deslocamentos do maciço de solo causado pela movimentação do equipamento durante a escavação, comparando o método elaborado com o convencional será apresentada.

2 | TÉCNICAS DE ESCAVAÇÕES EM SOLO

Em geral, o processo de escavação é empregado por meio de ferramentas que tem por finalidade o desmonte do maciço facilitando a remoção do material. Em termos da interferência na superfície, este processo pode ser dividido em dois tipos: escavação por método destrutivo ou por método não destrutivo (CHENG, 2015).

Por um lado, o método destrutivo, ou escavação a céu aberto, implica na abertura desde a superfície do terreno, causando interrupção no trânsito de veículos e transtornos para trabalhadores e pedestres. Assim, esse método é recomendado apenas onde não há interferência com edificações na superfície, com o sistema viário,

ou na possibilidade de desvio de tráfego sem causar grandes transtornos. Trata-se de uma das técnicas mais antigas, remontando às obras realizadas na antiguidade (mais de 2.000 anos atrás). Pode ser considerada a economicamente mais viável, dependendo da localização da obra, embora atualmente seja cada vez mais desvantajosa devido aos custos indiretos com o impacto no fluxo de transporte da superfície (HUNT, 2014).

Por outro lado, o MND, apesar de ter um custo direto mais elevado em relação ao processo por vala aberta, possui vantagens com menores custos indiretos principalmente no que diz respeito à interrupção mínima da superfície, uma menor duração da obra, menor inconveniência para pessoas, residências e empresas ao redor da obra (ABDOLLAHIPOUR, 2012).

Em suma, o uso de MNDs na implantação, manutenção ou expansão de obras subterrâneas tem o favorecimento do processo de construção devido à redução dos impactos ambientais, redução de custos indiretos, precisão na execução da obra, redução de tempo, a não interrupção do trânsito no local de trabalho, além da melhor qualidade do túnel, segurança e redução de danos ao ambiente (FARIA, 2008).

O presente trabalho apresenta algumas das principais técnicas de escavação de microtúneis utilizadas atualmente: a escavação manual, o pipe jacking, e a perfuração horizontal direcional das quais serão detalhadas nas seções posteriores.

2.1 Escavação Manual

O método da escavação manual de microtúneis consiste da ação de mão-de-obra com utilização de ferramentas simples realizando avanços progressivos com montagem simultânea de um revestimento metálico constituído por anéis de chapas de aço corrugado. Esses anéis são formados por um conjunto de segmentos que são montados e fixados com parafusos e porcas. Além disso, existem orifícios ao longo das chapas que possibilitam a inclusão de uma calda de injeção a fim de preencher vazios existentes entre as chapas corrugadas e o maciço escavado (PAIVA, 2011).

Este método é utilizado para execução de microtúneis com dimensões características variando entre 1,20 m a 5,00 m, na forma circular, elíptica, lenticular e arco, podendo ser implantado na maioria dos tipos de solo (STACO, 2015).

Dentre as principais aplicações deste método, podem ser citadas as galerias de drenagem de águas pluviais, redes de esgoto, passa-fauna, passagem de pedestres e de veículos, passagem de cabos de telefonia e energia, e passagem de tubulações de água e esgoto.

As chapas de aço corrugado, conforme mostrado na Figura 2, são de fácil manuseio e devem ser montadas de acordo com o avanço da escavação. Este avanço geralmente é na ordem de 46 cm ou 50 cm, sendo estas dimensões equivalentes às larguras das chapas metálicas. Além disso, a frente da escavação deve ser protegida para reduzir o risco de desmoronamentos, oferecendo maior segurança ao operador e à região adjacente da obra (STACO, 2015).



Figura 2 – Chapas metálicas corrugadas.

Fonte: Silveira, 2014.

Em túneis de diâmetro superior a 1,8 m, a escavação ocorre em duas etapas (calota-rebaixo), sendo escavada a parte superior em um primeiro estágio (calota), finalizando com a escavação do trecho inferior (rebaixo), conforme a Figura 3 ilustra. Esta escavação deve ser a mais justa possível à circunferência externa do revestimento e, ainda, o avanço deve ser ligeiramente maior que a espessura da chapa, geralmente de 46 cm (STACO, 2015).

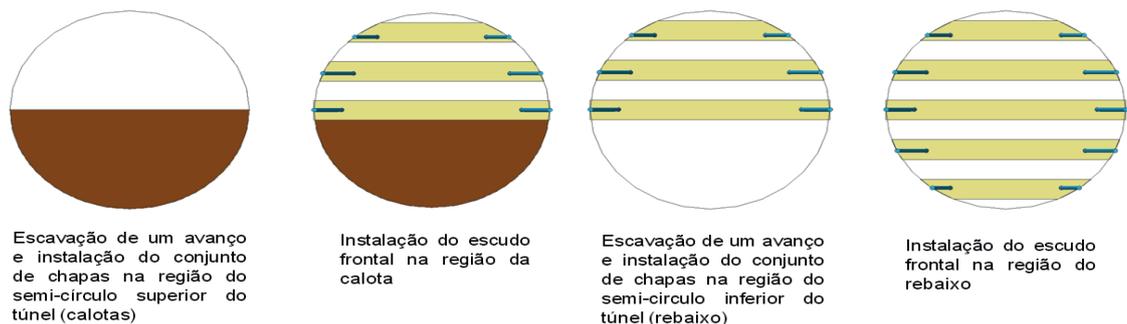


Figura 3 – Sequência de escavação “calota-rebaixo”.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Com o decorrer do avanço da escavação, executa-se a montagem das chapas da aba superior. As chapas ficam suportadas pelo uso de escoras inclinadas apoiadas no fundo do túnel. Após a montagem da parte superior, deve-se escorar a frente da escavação, geralmente usando pranchas de madeira, cobrindo 100% da superfície escavada, garantindo segurança aos operários. Dando prosseguimento, escava-se o rebaixo, correspondente ao semicírculo inferior. Para isso, as pranchas de madeira que constituem o escudo frontal são removidas uma de cada vez e um novo ciclo de operações permitirá a montagem dos anéis até que o túnel esteja finalizado (SILVEIRA, 2014).

2.2 Pipe Jacking

O segundo método de escavação de microtúneis a ser discutido é o Pipe jacking (tubulação empurrada). É uma tecnologia de construção não destrutiva com o objetivo de instalar tubulações subterrâneas. Nos últimos anos, esta técnica tem se tornado cada vez mais popular, principalmente, no que diz respeito à instalação de infraestruturas municipais, como, redes de esgoto, drenagem, oleodutos e canalizações (CHENG, 2015).

Esta técnica proporciona a instalação de tubos através de um sistema hidráulico, de modo tal que formam uma linha contínua de tubos, além disso, possui como características: boa integridade do túnel, curto período de construção, baixo impacto ambiental e baixa manutenção (ZHEN, 2014).

A tubulação empurrada pode ser realizada tanto para instalação de pequenos diâmetros em trechos curtos e retos quanto para tubos de diâmetros maiores em trechos longos e com curvaturas (SHOU, 2010).

Além disso, esta técnica tem sido amplamente utilizada em diversas aplicações por várias décadas. Porém, observa-se que o uso do pipe jacking ainda envolve uma prática relativamente conservadora ou superdimensionada, principalmente devido ao comportamento mecânico da interação solo-tubulação apresentar um desafio aos projetistas. Estes costumam se preocupar mais com a força necessária dos cilindros hidráulicos, na flexão dos tubos e no impacto sobre seus arredores, do que com o avanço da escavação (SUN, 2014).

O processo de escavação com o método pipe jacking requer algumas etapas ilustradas na Figura 4: escavação de poços; colocação do equipamento no interior do poço; posicionamento da frente de corte; escavação e início do avanço dos cilindros; colocação dos tubos; instalação de estações intermediárias; e retirada do equipamento no poço de saída (CHENG, 2015).

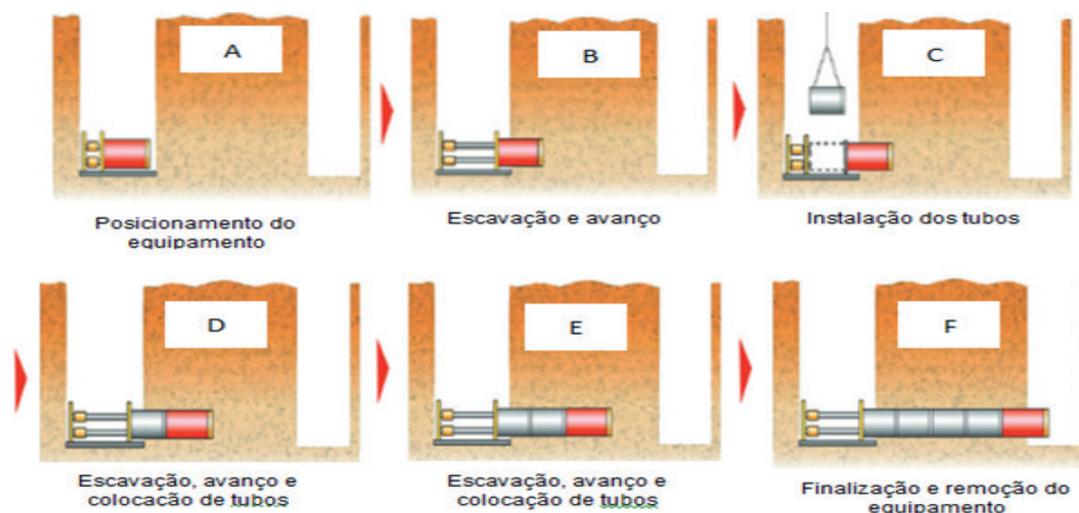


Figura 4 – Etapas de construção.

Fonte: Terratec, 2017.

Inicialmente devem-se preparar os poços de entrada e saída. Este é um passo importante para o sucesso da obra. Deve haver espaço suficiente para a instalação dos equipamentos envolvidos no poço de entrada. Além disso, a parede de reação do poço deve ser capaz de suportar o peso dos segmentos de tubulação. Após a preparação do poço, a colocação do equipamento no interior do mesmo pode ser realizada (Figura 4 A). Aqui é feita a preparação do sistema de propulsão, ou seja, dos cilindros que irão empurrar a máquina de escavação e o revestimento do microtúnel (CHENG, 2015).

Na etapa seguinte, o equipamento de escavação será posicionado no local especificado para o início da remoção do material e seu avanço (Figura 4 B). Já o terceiro passo inclui o avanço da frente de escavação e a instalação dos tubos (Figura 4 C) até a retirada do equipamento (Figura 4 F) quando o mesmo atingir o poço de saída (CHENG, 2015).

2.3 Perfuração Horizontal Direcional - Hdd

A perfuração horizontal direcional, tradução de “horizontal directional drilling” (HDD), é uma tecnologia de escavação subterrânea que permite instalações de dutos, com variabilidade tanto no diâmetro final, quanto na direção do caminho do furo que pode ser reto ou curvo (COWELL, 2003).

Devido à ampla flexibilidade e por ser um método não destrutivo, a técnica tornou-se uma das escolhas mais recomendadas para travessias na implantação de redes de água, esgoto, instalação de dutos para passagem de cabos de fibra ótica, entre outras aplicações (LAN, 2011). Porém, ressalta-se que a utilização da HDD ainda é baixa no Brasil, principalmente devido aos custos maiores que os da abertura de vala.

Na técnica HDD, a instalação dos dutos geralmente é executada em três fases distintas, sendo estas o furo piloto, o alargamento do furo e a instalação do tubo.

O furo piloto consiste na perfuração de um pequeno diâmetro que é iniciado na superfície com ângulo de entrada, geralmente de 8° a 20°, com a horizontal. O furo piloto prossegue inclinado até atingir a profundidade desejada onde, a partir de então, seguirá na posição horizontal. Depois de finalizada a trajetória horizontal, a perfuração segue inclinada até o local de saída pré-estabelecido, conforme pode ser visualizado na Figura 5 (COWELL, 2003).

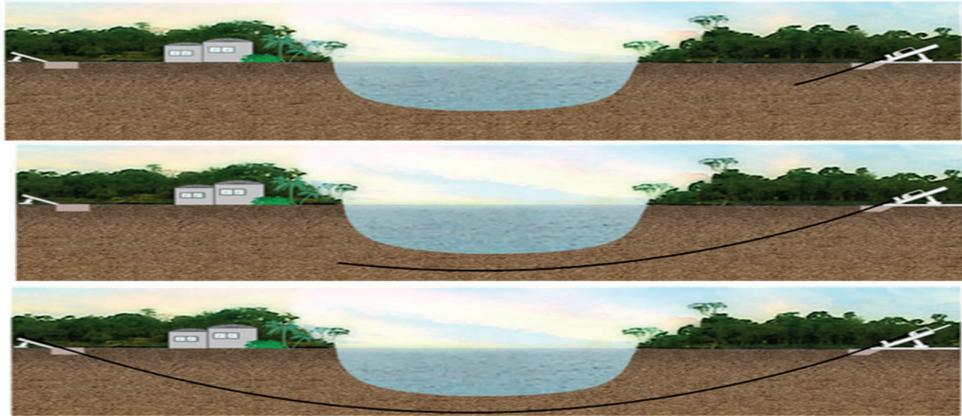


Figura 5 – Furo piloto.

Fonte: Brasfix, 2015.

O furo piloto é executado por meio de uma broca de perfuração, como se pode verificar na Figura 6. Esta broca possui um sistema com direcionamento monitorado por sensores eletromagnéticos. Os sinais destes sensores indicam a profundidade e a direção da broca permitindo assim, ao operador ajustar a direção do furo, obtendo o alinhamento necessário (ABDOLLAHIPOUR, 2012).



Escolha correta das brocas ou bits de perfuração.

Figura 6 – Detalhe da broca de perfuração.

Fonte: Brasfix, 2015.

Após, completado o furo piloto, a broca de perfuração é removida e em seu lugar é instalado uma de maior diâmetro, conhecida como alargador (LAN, 2011).



Figura 7 – Exemplo de alargador.

Fonte: Almeida, 2012.

A finalidade desta operação consiste em alargar o furo antes do processo de instalação do tubo (Figura 8). O diâmetro do furo é aumentado, tipicamente de 1,2 ou 1,5 vezes o diâmetro da tubulação que será instalada. Entretanto, este fator pode ser ajustado de acordo com as condições do solo e o comprimento total da execução (ROYAL, 2010).

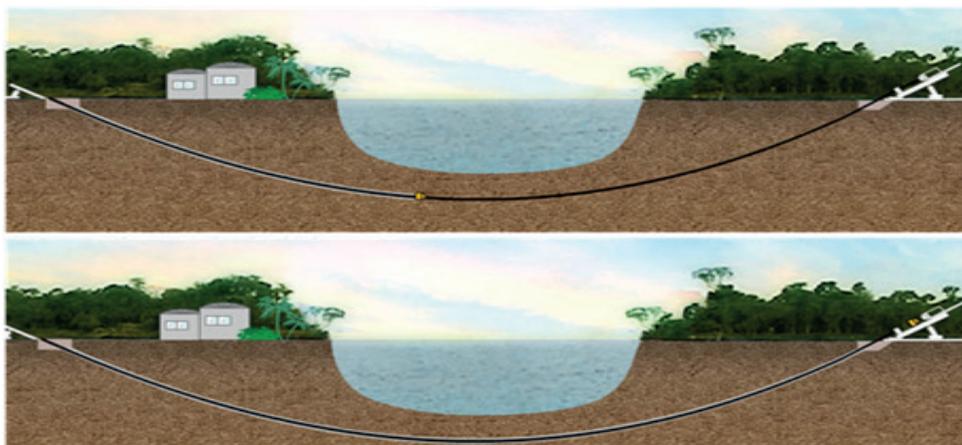


Figura 8 – Etapa de alargamento do furo.

Fonte: Brasfix, 2015.

O diâmetro aumentado proporciona uma redução dos atritos na fase seguinte, onde são puxados os tubos. Podem acontecer vários passes de alargamento, à medida que o diâmetro da tubulação seja bem maior que o diâmetro inicial. Para tanto, ocorrem aumentos graduais das brocas de alargamento até que seja alcançado o diâmetro desejado. A última passagem de alargamento coincide com a instalação da tubulação, conforme mostrado na Figura 9 (ZAYED, 2013).

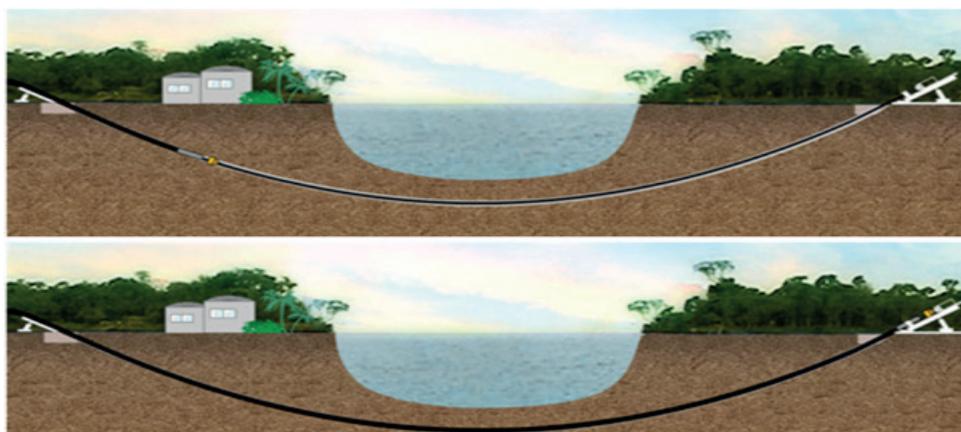


Figura 9 – Processo de instalação da tubulação.

Fonte: Brasfix, 2015.

A perfuração direcional horizontal é altamente recomendada para construções de novas redes de água, esgoto, efluentes industriais, gás, entre outros. Como o HDD é um método não destrutivo de construção, evitam-se os transtornos causados por interrupção de tráfegos pelas valas abertas (OLIVEIRA, 2011).

2.4 Resumo Das Tecnologias Apresentadas

Esta seção teve por objetivo resumir os pontos principais das tecnologias não destrutivas descritas anteriormente. As características levadas em consideração foram: a variação da forma final do túnel, a cobertura mínima de escavação, o revestimento utilizado, o sistema de avanço e a montagem do revestimento. Todos os aspectos estão apresentados na Tabela 1.

	Manual	Pipe Jacking	HDD
Seção transversal	Circular Elíptico Lenticular Arco	Circular	Circular
Dimensão	De 1,2 até 5,0 metros	Até 3,0 metros	Até 1,2 metros
Cobertura	> 2 x □	> 4 m	< 6 m
Avanço	Manual	Mecanizado	Mecanizado
Montagem do revestimento	Manual	Compressão	Tração
Revestimento	Chapas de aço corrugada	Tubos de concreto pré-moldado	PFAD PVC AÇO

Tabela 1 – Resumo das tecnologias de escavação.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Quanto ao formato do túnel a seção transversal pode variar dependendo da aplicação final deste. O formato circular é usualmente o mais comum devido às tensões

ao redor do túnel ser mais bem distribuídas. Entretanto, dependendo da aplicação, o formato final não circular é desejável podendo ser mais econômico tanto em tempo quanto em custo, quando se deseja uma superfície plana, como, por exemplo, uma travessia de pedestres, de ciclistas, passagens de veículos sob-rodovia, entre outros (SANTOS, 2017). As tecnologias, HDD e Pipe Jacking, produzem como resultado final apenas o formato circular devido ao processo construtivo. Já com a escavação manual é possível conseguir formatos diversos como, circular, retangular, elíptico, arco, lenticular ou outras formas. Portanto, ao se tratar de formato, a escavação manual tem vantagens dentre as demais dependendo do objetivo final da obra.

Em se tratando de cobertura a tecnologia de HDD possibilita a execução em baixas profundidades quando comparado com as demais técnicas. Já para os demais tipos de escavação adota-se pelo menos duas vezes o diâmetro do túnel.

Quanto ao sistema de avanço, as técnicas de HDD e pipe jacking ocorrem por força mecanizada enquanto que a escavação manual são usadas ferramentas manuais com pá e picareta, por exemplo. As duas primeiras são vantajosas quanto ao tempo e segurança, mas exigem revestimentos robustos. No HDD, o revestimento é composto por tubos de PEAD (polietileno de alta densidade), PVC (policloreto de vinila), ou aço. Já o pipe jacking utiliza tubos de concreto como revestimento e estes não empurrados pelos cilindros hidráulicos após a abertura do túnel. Por fim, na escavação manual, o revestimento é composto por chapas de aço corrugadas, leve, de simples montagem.

Em suma, pode-se concluir que todas as técnicas discutidas apresentam vantagens complementares em relação às necessidades e características de uma determinada obra, ou seja, nenhuma das técnicas é dominante em todos os aspectos.

3 | METODOLOGIA

A metodologia adotada dá início pela definição dos objetivos que tem como finalidade sintetizar o que se pretende alcançar com a pesquisa; uma revisão da literatura que refere-se à fundamentação teórica adotada para tratar o tema e o problema da pesquisa de forma tal que são levantados os trabalhos de pesquisa afins ao trabalho nas principais fontes acadêmicas disponíveis (livros, artigos, teses e dissertações). Por fim, por meio de um caso real de uma obra de macrodrenagem será comparado e avaliado os métodos de escavação manual e a semimecanizada por meio de simulações com o método de elementos finitos (FEM).

Nesta análise foram considerados os recalques no solo tanto para o caso de escavação com a técnica manual quanto para a escavação com o uso do equipamento proposto. Assim, foram realizadas simulações através do software MIDAS/GTS, que fornece resultados de alta confiabilidade para a simulação da escavação sequencial de túneis, a fim de estimar os recalques na superfície e os deslocamentos no entorno da escavação tanto em operações manuais quanto do equipamento desenvolvido.

O modelo elaborado considerou uma representação similar da obra proposta para o microtúnel e de seu procedimento executivo, avaliando a escavação sequencial em ambos os casos (manual e equipamento proposto). Para tanto, foram utilizados elementos tetraédricos para representação da malha com exceção no revestimento onde foi utilizado element de casca nas duas situações. Adicionalmente, a couraça metálica usada na execução das escavações pelo equipamento desenvolvido também foi representada por elementos de casca.

Para proporcionar a precisão adequada nos resultados, o modelo utilizou um total de 70.992 elementos no para a escavação manual e 71.080 elementos no modelo proposto com a couraça metálica. A simulação ocorrerá de forma sequencial com a remoção do material escavado e a aplicação do revestimento, adicionando passos de escavação a cada 1 m. O efeito da não-linearidade dos materiais foi representado pelo modelo elasto-plástico com o critério de Mohr-Coulomb.

Adicionalmente, ambos modelos levaram em consideração diversas estruturas existentes para retratar ao máximo possível a realidade. Exemplo disso são as galerias anteriormente construídas, a rodovia, as marginais, as estruturas de divisão tipo “New-Jersey”, as gramas, entre outros, conforme observado na Figura 11.

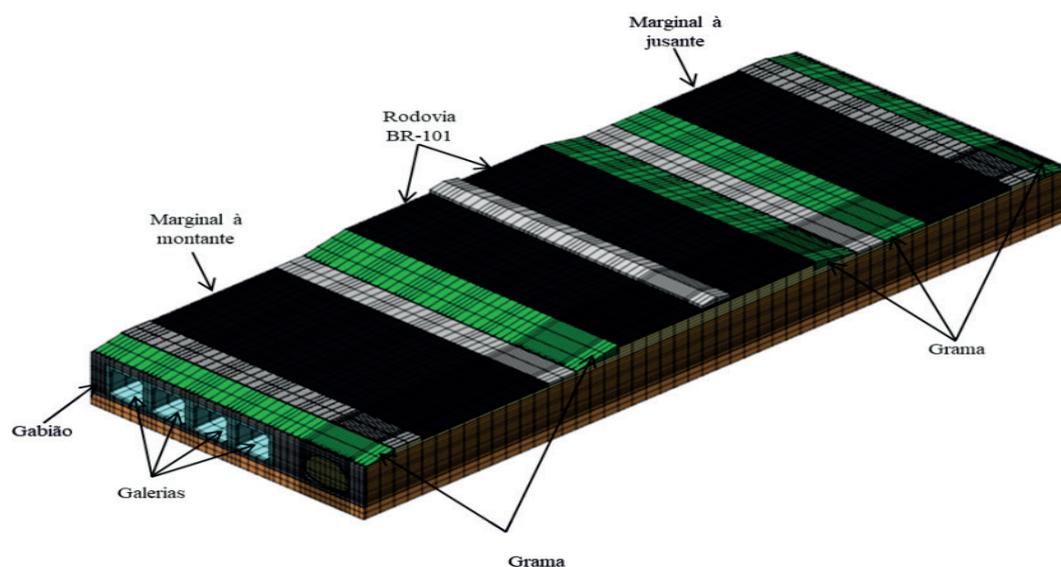


Figura 11 - Modelo 3D e suas estruturas.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

As sondagens disponíveis para o projeto indicaram diferentes camadas de solo. Para a presente análise foram consideradas para o solo as propriedades elastoplásticas (critério de Mohr-Coulomb) descritas na Tabela 2 e visualizada na Figura 12.

Solo	Módulo de Elasticidade [kN/m ²]	Poisson	Peso Específico [kN/m ³]	Coesão [kN/m ²]	Ângulo de atrito [°]	Espessura [m]
Argila mole	3922	0,25	15	12	27	1,50
Argila média	8825	0,25	17	21	25	5,35
Solo compacto	19613	0,25	20	25	30	2,50

Tabela 2 – Propriedades do solo.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

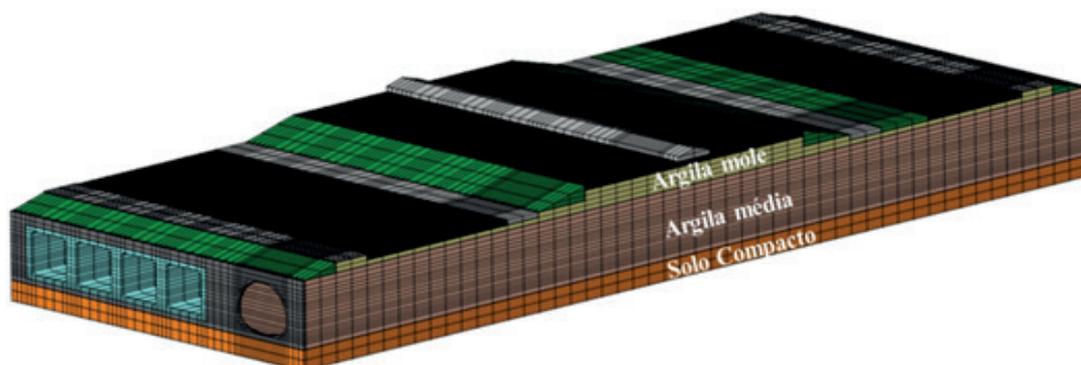


Figura 12 - Diferentes camadas de solo que foram modeladas.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Adicionalmente, as propriedades da couraça e da placa metálica estão elencadas na Tabela 3.

Descrição	Módulo de Elasticidade [kN/m ²]	Peso Específico [kN/m ³]	Espessura [m]
Couraça	210000	78	0,05
Placa	210000	78	0,05

Tabela 3 – Propriedades dos dispositivos.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A diferença entre os modelos está na geometria, no procedimento de escavação e na aplicação do revestimento. No que diz respeito à geometria, a diferença consiste na seção da escavação (Figura 13). Por um lado, na execução manual a área escavada refere-se apenas ao material no interior do revestimento, enquanto que na escavação com a couraça tracionada a análise considera o volume um pouco maior da escavação do solo no interior da couraça.

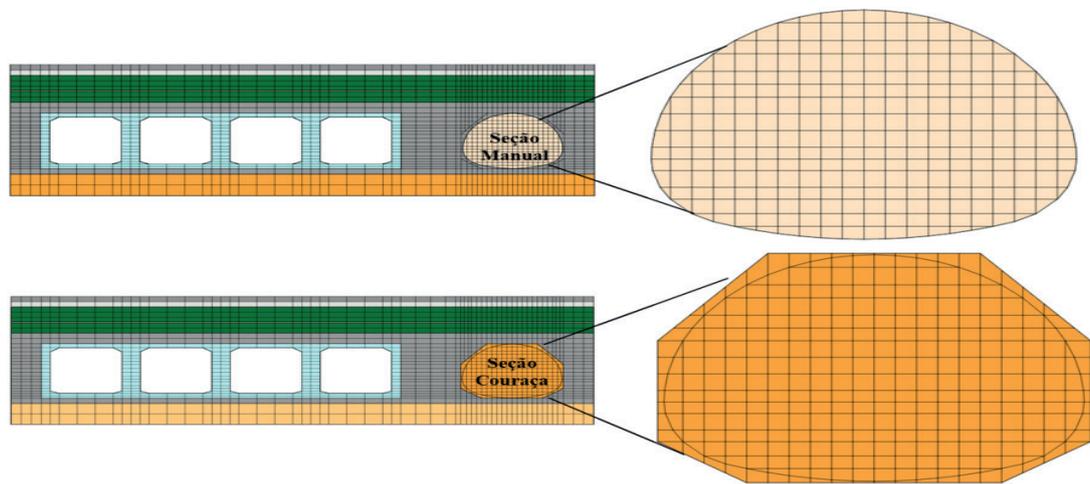


Figura 13 – Seção de escavação dos modelos.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

O revestimento considerado para ambos os modelos é o mesmo, consistindo de anel de chapa de aço corrugado com 0,5 m de largura. Entretanto, no modelo com o equipamento semimecanizado proposto, outros dois elementos surgem: a couraça móvel e o preenchimento adicional entre a couraça e o revestimento, conforme pode ser visualizado na Figura 14. Este preenchimento adicional ocorre devido ao formato da couraça que agora exige um volume de escavação ligeiramente maior quando comparado à escavação convencional, e, portanto, este fator deve ser levado em consideração.

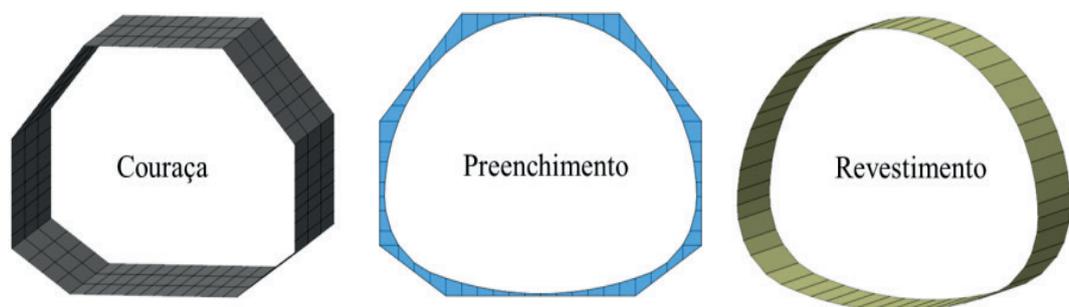


Figura 14 – Detalhe da couraça, preenchimento e revestimento.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A área da seção manual é de 12,11 m² enquanto que a área da seção com couraça é de 13,72 m². Assim, o preenchimento do modelo escavado com o equipamento proposto ocupar uma área adicional de 1,61 m² no plano da seção transversal do microtúnel.

Outro aspecto importante é quanto as cargas consideradas nas vias principais, tanto nas marginais quanto na rodovia BR-101 de 25 kN/m² para ambos os modelos, conforme mostra a Figura 15. Isto simula as condições reais de execução da obra.

0,000 4,580 9,60 3,740 8,39

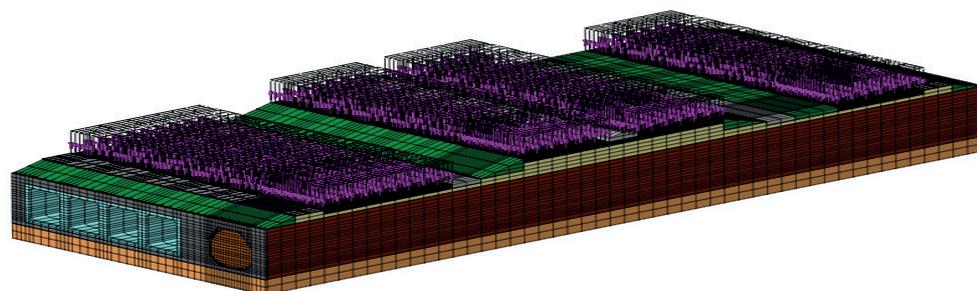


Figura 15 – Distribuição de cargas nos modelos.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste ponto considera-se que o desenvolvimento conceitual atingiu o objetivo de resultar em um equipamento funcional e eficiente. Para fins de complementar, verificar e atestar a funcionalidade e eficiência do desenvolvimento proposto considera-se agora uma análise voltada para questões práticas e de viabilidade da aplicação em um projeto real. Para tanto, será descrito um estudo de caso que diz respeito a um projeto de microtúnel de macrodrenagem localizado em Biguaçu, no Estado de Santa Catarina. O objetivo é apresentar as especificações técnicas para o serviço de escavação na região de implantação do microtúnel comparando o método de escavação manual com a técnica semi-mecanizada aqui apresentada através de simulações geotécnicas por meio de elementos finitos que fará a análise da sequência de escavação, comparando os níveis de recalques apresentados tanto para a técnica manual quanto para o desenvolvimento proposto.

4.1 Dados da Obra

A obra considerada no presente estudo faz parte do projeto da ampliação do sistema de macrodrenagem em Biguaçu/SC, consistindo na travessia do Rio Carolina por um microtúnel sob a BR-101, conforme apresentado na Figura 21.

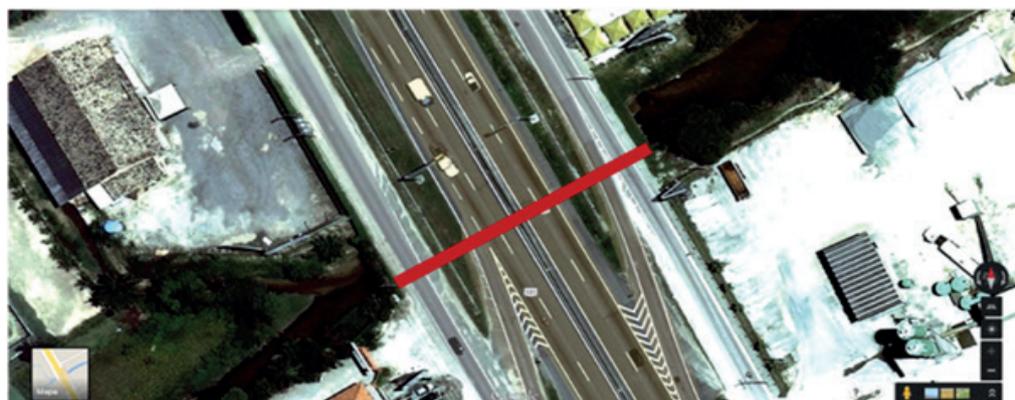


Figura 21 - Local do microtúnel.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

A principal motivação para a realização da obra deve-se ao fato de ocorrerem constantes alagamentos na região do Rio Carolina devido à insuficiente drenagem nas galerias existentes sob a rodovia BR-101.

A solução original previa a construção de dois novos microtúneis, com diâmetro de 2,20 m e extensão de 50 m paralelos às galerias existentes. Entretanto, por questões de otimização do espaço e tempo de execução, optou-se pelo estudo de um microtúnel apenas, com formato lenticular com 4,45 m de largura e 3,41 m de altura.

Analisando a região constatou-se uma cobertura muito baixa, em torno de 1,5 m nas marginais (Figura 22) enquanto que na rodovia principal a cobertura máxima é de 2,5 m que associada ao alto fluxo de veículos confere um elevado risco de colapso à rodovia BR-101.



Figura 22 - Baixa cobertura sob a marginal da BR-101.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Além disso, existe a passagem de tubulações de gás entre a rodovia e as galerias o que impossibilita possíveis tratamentos de solo para o tipo de escavação tradicional escolhida para a obra (escavação manual).

Com a baixa cobertura do solo recomenda-se seu tratamento com técnicas especiais de reforço, como a inclusão de enfilagens tubulares, que é um método de instalação de tubos metálicos e injeção de calda de cimento com a finalidade de aumentar a estabilidade do maciço.

Por outro lado, acredita-se que com a tecnologia desenvolvida a execução da obra ocorrerá de uma forma mais segura dispensando os tratamentos no solo, em especial as enfilagens. Outra vantagem é que ao invés de dois microtúneis o equipamento proposto pode ter suas dimensões adequadas para atender a demanda em apenas um microtúnel com dimensões aumentadas, respeitando a vazão de projeto.

4.2 Resultados das Análises 3D

Os dois modelos 3D elaborados consideraram efeitos da não-linearidade do material, da escavação sequencial e da aplicação sucessiva dos elementos de suporte. Um dos aspectos mais críticos considerados na análise refere-se aos recalques da rodovia pelo processo construtivo e pelo carregamento de 25 kN/m².

No modelo da escavação manual considerou-se que a aplicação do revestimento

com a chapa corrugada era aplicado apenas após o avanço de 0,50 m da seção do túnel. Este procedimento foi adotado para simular as condições reais de execução com este método. Assim, para a escavação manual do microtúnel o valor máximo de deslocamento vertical encontrado foi de aproximadamente 0,03 m, que pode ser visualizado na Figura 23.

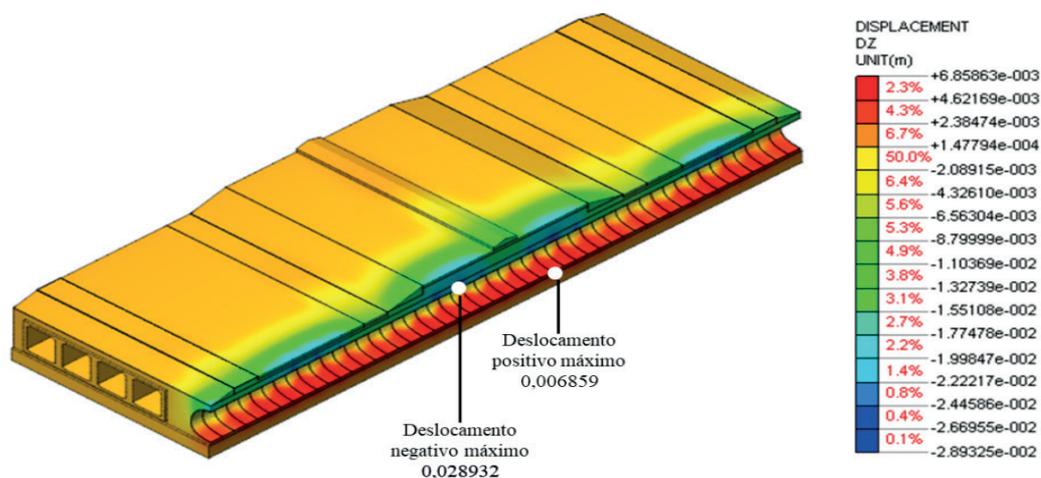


Figura 23 – Corte no modelo para apresentação dos deslocamentos verticais para a escavação manual.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Nota-se a existência de deslocamentos verticais positivos e negativos. Os deslocamentos positivos, ou seja, no sentido de baixo para cima ou do solo para a base do túnel pode ser interpretada devido à tendência de flutuação por haver uma baixa cobertura ou por questões de deformabilidade do solo que são causadas pela alta pressão do maciço que tende a empurrar a base do túnel para cima. Neste caso, o deslocamento máximo positivo é de aproximadamente 0,007 m.

Por outro lado, o deslocamento negativo representa o sentido de cima para baixo, ou seja, da rodovia para o topo do túnel e neste caso, o valor máximo encontrado foi de aproximadamente 0,030 m.

Adicionalmente, o corte mostra uma distribuição homogênea por toda a base do microtúnel com relação ao deslocamento positivo. Já os deslocamentos negativos ocorrem abaixo das rodovias, no topo do túnel, onde ocorre maior concentração de cargas devido ao fluxo de veículos.

No caso específico da utilização do equipamento desenvolvido, a análise considerou a escavação no interior da couraça, a montagem do revestimento, e a cada passo de avanço o preenchimento era aplicado imediatamente. Assim, diferentemente da escavação manual, o solo escavado nunca fica exposto, pois sempre está em contato com a couraça ou com o preenchimento.

Desta forma o resultado da análise indicou níveis relativamente baixos de recalque após a escavação do microtúnel com a nova técnica. Na pior condição de carregamento, o máximo deslocamento vertical negativo observável foi de aproximadamente 0,0045

m no topo do túnel enquanto que o máximo deslocamento vertical positivo foi de aproximadamente 0,0040 m na base do túnel conforme ilustrado na Figura 24.

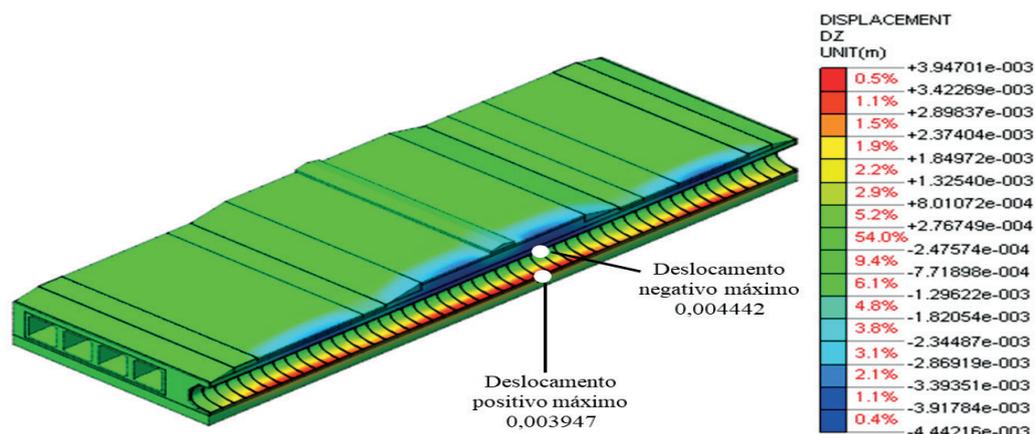


Figura 24 - Corte no modelo para apresentação dos deslocamentos verticais para a escavação semi mecanizada.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

É possível verificar os locais nos quais os deslocamentos verticais são máximos. Nota-se, portanto que o deslocamento vertical positivo máximo é de aproximadamente 0,0040 m enquanto que o deslocamento vertical negativo máximo é de 0,0045 m, conforme já mencionado.

Logo, ao analisar os deslocamentos verticais negativos nas duas situações, nota-se que houve uma redução de aproximadamente 85% comparando o uso da técnica semimecanizada desenvolvida com a execução convencional, reduzindo de 0,03 m na escavação manual para 0,0045 m na semimecanizada. Isto representa uma situação favorável no aspecto de segurança da construção da obra pois reduz o risco de colapso do solo.

5 | CONCLUSÃO

O estudo proporcionou um grau de mecanização da escavação manual com a adição de um sistema inovador de tracionamento de cabos que movimentam o equipamento sem exigir esforços do revestimento. Foram analisados os recalques no solo devido à movimentação do equipamento proposto durante a escavação e identificou-se que a escavação semimecanizada apresentou níveis de deslocamentos significativamente menores quando comparado com a escavação manual nas mesmas condições. Houve uma redução de aproximadamente 85% nos níveis de deslocamentos da escavação semimecanizada quando comparado com a escavação manual. Portanto, o conceito desenvolvido apresenta maior segurança em escavações mesmo com baixas coberturas.

Em suma, foi apresentado um conceito de um equipamento semimecanizado

para escavações em solo, com trechos retos e curtos, seguro, atuação em baixas coberturas, e com grande importância no sentido de atender as demandas de infraestruturas da sociedade brasileira.

REFERÊNCIAS

- ABDOLLAHIPOUR, S. **Performance Assessment of on-grade Horizontal Directional Drilling**. Journal of Construction Engineering and Management , V. 138 pag 458-468. 2012.
- ALMEIDA, M. HDD - **Boas Práticas de Lições Aprendidas em Obras da Petrobras**. 30th International NO-DIG. São Paulo, 2012.
- BRASFIX. **Brasfix Fundações**. Disponível em: <http://www.brasfixfundacoes.com.br/furodirecional>. Acessado em 13 de Outubro de 2018.
- BROERE, W. **Urban Underground Space: Solving The Problems Of Today's Cities**. Tunnelling and Underground Space Technology V. 55, pg. 245-248, 2015.
- CHENG, M. **Developing a Risk Assessment Method for Complex Pipe Jacking Construction Projects**. Journal Automation in Construction. V. 58, pg. 48-59, 2015.
- COWELL, D. A. **Evaluation of High-Density Polyethylene Pipe Installed Using Horizontal Directional Drilling**. Journal of Construction Engineering and Management, V. 129, pg 47-55, 2003.
- FARIA, R. **Subsolo Congestionado - Prefeituras Brasileiras não têm Cadastro Unificado das Redes Subterrâneas e Concessionárias se Unem para Minimizar Acidentes em Escavações**. 2008. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/140/artigo285448-1.aspx>. Acessado em 19/10/2018.
- GODARD, J. P. **Why go Underground? Contribution of the Use of Underground Space to Sustainable Development**. ITA, AITES, 2002.
- GODARD, J. P. **Urban Underground Space and Benefits of Going Underground**. World Tunnel Congress 2004 and 30th ITA General Assembly - Singapore, 22-27 May 2004.
- HUNT, D. **Sustainable Utility Placement via Multi-Utility Tunnels**. Tunnelling and Underground Space Technology. V. 39, pg. 15-26, 2014.
- LAN, H. **Prediction or Rotational Torque and Design of Reaming Program Using Horizontal Directional Drilling in Rock Strata**. Tunnelling and Underground Space Technology, V. 26, pg 415-421, 2011.
- LI, S. et al. **An Overview of Ahead Geological Prospecting in Tunneling**. Tunnelling and Underground Space Technology. V. 63, 2017, pg 69-94.
- MIDAS GTS 4.0. **Information Technology**. Seongnam-si, South Korea, Midas. [Computer software].
- NORONHA, M. **Construction of Non-Circular Tunnels with Water Jet Cutting**. International No-Dig 2012 30th International Conference and Exhibition. São Paulo, Brazil 12-14 November 2012
- OLIVEIRA, E. L. **Métodos não Destrutivos e Túneis de Multi-Utilidade: Benefícios para a Sustentabilidade das Redes de Infraestrutura Urbana**. International Workshop Advances in Cleaner Production. São Paulo, 2011.

PAIVA, A. R. **Escavação de Túneis de Pequenas Dimensões em Áreas Urbanizadas: Tunnel Liner e Pipe Jacking**. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Engenharia Civil da Universidade Anhembi Morumbi, 2011.

ROYAL, A. **Pull-in Force Predictions for Horizontal Directional Drilling**. Geotechnical Engineering, V. 163, pg. 197-208, 2010.

SANTOS, R. P. dos. **Um Conceito de Tuneladora com Jato de Água e Fio Diamantado como Princípio de Corte de Rochas Brandas**. Tese apresentada ao departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

SHOU, K. **On the Frictional Property of Lubricants and its Impact on Jacking Force and Oil-Pipe Interaction of Pipe-Jacking**. Tunnelling and Underground Space Technology, V. 25, pg. 469-477, 2010.

SILVEIRA, S. R. **Aplicação da Técnica de Análise Preliminar de Risco (APR) para Avaliação de Risco no Trabalho de Tunnel Liner**. Monografia de especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

STACO, A. **Armco Staco**. Disponível em Tunnel Liner - TL circular: <http://www.armcostaco.com.br/pt/produto/3> Acessado em 19 de Novembro de 2015.

STERLING, R. L.; GODARD, J. P. **Geoengineering Considerations in the Optimum Use of Underground Space**. ITA-AITES, 2002.

SUN, Y. **Prediction of Lateral Displacement of Soil Behind the Reaction Wall Caused by Pipe Jacking Operation**. Tunnelling and Underground Space Technology, V. 40, pg. 210-217, 2014.

TERRATEC. **Products: Microtunnelling**. Disponível em: <http://terratec.co/product_details_microtunnelling> Acessado em: 22/08/2018

ZAYED, T. **Data Acquisition and Factors Impacting Productivity of Horizontal Directional Drilling (HDD)**. Tunneling and Underground Space Technology, V. 33, pg 63-72, 2013.

ZHEN, L. **Analysis and Remedial Treatment of a Steel Pipe-Jacking Accident in Complex Underground Environment**. Engineering Structures, V. 59, pg. 210-219, 2014.

UTILIZAÇÃO DA BORRACHA DE PNEU COMO ADIÇÃO EM FORMATO DE FIBRA PARA O TIJOLO ECOLÓGICO.

Gabrieli Vieira Szura

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Faculdade Mater Dei. Pato Branco – Paraná

Andressa Zanelatto Venazzi

Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Faculdade Mater Dei. Pato Branco – Paraná

Adernanda Paula dos Santos

Profesora da disciplina de Tecnologia da Construção Civil da Faculdade Mater Dei. Pato Branco – Paraná.

RESUMO: O presente trabalho teve como principal objetivo analisar a influência da borracha de pneu, em formato de fibra, como adição no tijolo ecológico. Para atingir o objetivo, foram feitas análises laboratoriais, onde se analisou a propriedade mecânica de compressão, análises MEV (microscópio eletrônico de varredura), análises da composição química e física do solo, análise da absorção de água e resistência ao fogo dos corpos-de-prova. O traço referência utilizado foi 1:10 (cimento:solo), a fibra de borracha entrou substituindo a porcentagem de solo, em proporções de 10, 30 e 50 %. Os resultados mostraram que o uso da fibra em 10% seria viável, tanto para o meio ambiente, quanto para a construção civil, pois, houve um aumento na resistência a compressão. E quanto aos demais ensaios realizados, absorção de água, porosidade, apresentaram resultados muito semelhantes ao traço referência, sem

apresentar prejuízos.

PALAVRAS-CHAVE: Tijolo ecológico. Fibra de borracha de pneu. Sustentabilidade.

ABSTRACT: The main goal of the present essay is to analyze the influence of tire rubber, in fiber format, as an addition in ecological brick. In order to reach the main goal, laboratorial analyzes had been done when we could study the mechanical property of compression, SEM analyzes (Scanning Electron Microscope), analyzes of the chemical and physical composition of the soil, analyzes of water absorption and fire resistance of the test specimens. The reference trace used was 1:10 (cement:soil), the rubber fiber came to replace the soil percentage, in proportions of 10,30 and 50%. The results have shown that the use of fiber in 10% would be viable, both for the environment and for construction due to the increase on the resistance as well as in the compression. Other tests had been performed and they had shown that water absorption and porosity had had similar results to the reference trace without any damages.

KEYWORDS: Ecological brick, Tire rubber fiber, Sustainability.

1 | INTRODUÇÃO

A escassez dos recursos naturais e a

necessidade de preservar o meio ambiente fazem com que novas soluções sejam adquiridas. Pensando nessa necessidade, surge o tijolo solo cimento ou conhecido também como tijolo ecológico. Como seu próprio nome diz, é um tijolo ecológico composto basicamente de solo e cimento. Pode-se dizer que ele é ecológico, pois ele dispensa a queima, evitando a emissão de gases poluentes ao meio ambiente e também reduz o número de entulhos na obra. (MORAIS, 2014).

Segundo Gonçalves (2013), o solo ideal para a fabricação do tijolo ecológico são aqueles que possuem de 30 a 60% de areia na sua composição. Os solos argilosos devem ser estabilizados com areia, pois facilitará e deixará o processo de hidratação do cimento mais rápido. Para o autor, o aprimoramento do tijolo solo cimento e a busca de novas alternativas contribuem com o meio ambiente, e assim, possibilita-se a incorporação da fibra de borracha de pneus de descarte como adição no tijolo ecológico.

Sabe-se que os pneus de descarte não possuem uma destinação totalmente correta, ocasionando assim prejuízos ao meio ambiente e aos seres vivos. O principal problema do acúmulo desse material (pneu), em locais inapropriados é a proliferação do mosquito *Aedes aegypti* transmissor da dengue, *zika* e *chicungunya*. Essas doenças são transmitidas pelo mesmo mosquito, mas possuem diferentes características entre eles. (BRASIL: Ministério da Saúde, 2017).

O tijolo foi criado com a ideia de ser sustentável, poupando os recursos naturais e reduzindo a produção de resíduos ao meio ambiente. Desta forma, esta pesquisa busca responder: **o tijolo ecológico com a adição da borracha de pneus inservíveis pode ser uma boa solução, levando em consideração o meio ambiente e economia na construção civil?**

Com isso, o objetivo geral visa avaliar a possibilidade da utilização da fibra de pneus de descarte como material complementar na fabricação do tijolo solo cimento.

Sendo assim, os objetivos específicos consistem em:

- Pesquisar e analisar literaturas que abordem conceitos relativos ao tijolo ecológico e a utilização da fibra;
- Analisar a composição química e física do solo;
- Analisar e comparar a propriedade mecânica (compressão) dos corpos-de-prova, aos 7, 14 e 28 dias de cura.
- Fazer a análise microestrutural MEV (microscópio eletrônico de varredura), aos 28 dias de cura;
- Analisar a absorção de água por imersão aos 28 dias de cura;
- Analisar a resistência dos corpos-de-prova quando submetidos à ação do fogo, após o período de cura total, aos 28 dias.

Segundo Pereira et al., (2015), o pneu é suscetível ao fogo, então fabricou-se um molde de madeira com a espessura de uma parede interna de 15 cm, que será submetida a essa ação para ver como a fibra irá se comportar diante de altas temperaturas. Para a realização desse teste foi seguida a norma NBR 10636/1989,

que trata da determinação da resistência ao fogo em paredes divisórias sem função estrutural.

Segundo Gonçalves (2013), o traço ideal seria 1:10 (cimento, solo), pois segundo o autor, o solo ideal são os arenosos para a fabricação do tijolo solo cimento, sem que houvesse necessidade de estabilização do mesmo.

Porém, o solo coletado para a fabricação dos corpos-de-prova possui grandes proporções de argila em sua composição, então, esse solo foi estabilizado com areia, facilitando o processo de hidratação do cimento, resultando em um traço 1:5:5 (cimento, solo, areia). Segundo Campos (2016), quando houver necessidade de estabilização do solo, o correto é adicionar 50% de areia. O solo utilizado para a moldagem dos corpos-de-prova foi coletado na cidade de Pato Branco – PR.

Os resultados encontrados demonstram que adicionando uma porcentagem de 10% de fibra de borracha, a resistência a compressão é superior ao do traço referência. Outro ponto positivo foi à questão da absorção de água e índice de vazios, onde os valores encontrados entre o traço referência e o traço com 10% de fibra foram praticamente os mesmos, ou seja, não ocorreu um aumento significativo da porosidade entre os dois traços.

2 | TIJOLO ECOLÓGICO OU TIJOLO SOLO CIMENTO

O tijolo ecológico ou conhecido também como tijolo solo cimento é composto basicamente de solo, cimento e água. Esse tijolo veio com o intuito de propor melhorias ao meio ambiente e economia na área da construção civil.

As vantagens do tijolo ecológico são inúmeras, o tijolo ecológico ao contrário do tijolo convencional, dispensa a queima, evitando a emissão de gases poluentes ao meio ambiente, proporciona uma obra mais limpa com rapidez e menor custo no final da obra. Também possuem furos que ficam sobrepostos, formando dutos por onde passa a rede hidráulica e elétrica, evitando os “recortes” nas paredes. (GONÇALVES, 2013).

Schimidt (2009) comparou o tijolo solo cimento com o tijolo convencional, no qual afirmou que a qualidade do tijolo ecológico é melhor, é mais resistente e o tempo de execução da obra com esse tipo de tijolo reduz cerca de 50%.

A ideia principal de utilizar esse material é construir casas ecologicamente correta, com responsabilidade com o meio ambiente. O tijolo ecológico veio com o intuito principal de reduzir os impactos ambientais. O propósito é utilizar materiais de fontes renováveis, que utilizem baixo consumo energético e não emitam substâncias nocivas.

2.1 Solo

O solo é o componente que entra em maior proporção na mistura para a produção

do tijolo ecológico, e deve ser selecionado de modo que se utilize a menor quantidade possível de cimento. (GONÇALVES, 2013).

Segundo Junior C. et.al. (2016), os solos ideais para a fabricação do tijolo ecológico são os solos arenosos, que possuem 50% de areia, 25% de silte e 25% de argila em sua composição. O solo arenoso é o ideal porque se estabilizam com pequenas quantidades de cimento. O solo também deve estar livre de matéria orgânica (galhos, folhas, raízes) e também de torrões.

É indispensável fazer a análise granulométrica do solo que vai ser utilizado na fabricação das amostras de solo cimento, pois o solo possui influência direta na qualidade do tijolo. Os ensaios granulométricos devem seguir a ABNT NBR 7181/2016, onde faz a determinação da composição granulométrica do solo e das composições dele. (SOUZA et al. 2007).

2.2 Pneu

O descarte inadequado de pneus inservíveis vem ocasionando muitos prejuízos ao meio ambiente, justificado pelo fato do grande poder energético dos pneus. A possibilidade de ocorrer um incêndio deve ser considerada. Durante a queima desse material, é enorme a probabilidade de contaminação do solo e da água. A queima faz o pneu liberar dióxido de enxofre, que é altamente perigoso a saúde humana. (SPECHT, 2004).

Segundo Schmidt (2009), a sociedade vem buscando novas alternativas que não agridam tanto o meio ambiente, uma delas é a reciclagem de materiais. Com essa preocupação do homem com o meio ambiente, o tema sustentabilidade vem sendo tratado com extrema importância.

Quando se fala em sustentabilidade, pensa-se em uma estratégia de desenvolvimento, mas sem comprometer o meio ambiente e as futuras gerações. Ser sustentável é respeitar os recursos naturais, favorecendo o consumo consciente e reduzindo os resíduos que podem afetar o meio ambiente. (JASMINE, 2015).

É indiscutível que o pneu possui um papel muito importante em nossa vida diária, tanto para transporte de passageiros, quanto para o transporte de cargas. Porém, a grande quantidade existente desse material disposto na natureza, como já citado anteriormente, causa sérios problemas. Com a possibilidade de amenizar os impactos ambientais, utilizar materiais reciclados é como um combustível alternativo para o meio da construção civil (PEREIRA et al., 2015).

2.2.1 Legislação

No ano de 1999, foi aprovada uma resolução do CONAMA 258 (Conselho Nacional do Meio Ambiente), que diz que a responsabilidade de dar uma destinação correta aos pneus inservíveis é do produtor e importador. Desde janeiro de 2002, os fabricantes e importadores possuem a responsabilidade pelo ciclo total do pneu. Em março de 2003

foi aprovada uma nova resolução, CONAMA 301, onde reforça e esclarece pontos incertos da resolução CONAMA 258/1999. Ficou a cargo do Ibama fiscalizar e aplicar a resolução, podendo intervir e punir quem não está seguindo corretamente o CONAMA 301/2003. (SPECHT, 2004).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente ([s.d]), outro instrumento que determina a responsabilidade pelo ciclo de vida de um produto e a logística reversa, é o PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos), Lei nº 12.305/2010, aprovada em 2 de agosto de 2010.

A logística reversa é um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a possibilitar a destinação correta aos produtos, para o reaproveitamento deles. É um instrumento de desenvolvimento econômico e social. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. ([s.d])).

2.3 Cimento

O cimento *Portland* é um pó fino com propriedades ligantes, aglomerantes ou aglutinantes, que endurece sob a ação da água, mas depois de endurecido, mesmo sendo submetido à ação da água novamente, o cimento não se desagrega mais. (PEREIRA. et. al, 2013).

Segundo Pereira et. al, (2013) diz que o cimento ideal para a produção do tijolo solo cimento é o CP II – F, o cimento com adição de material carbonático - fíler. O cimento ideal é o CP II – F, pois é um cimento que torna o tijolo solo cimento mais resistente e tem como característica secagem rápida. Possui a necessidade de cura por aspersão com água logo após a concretagem, esse tempo de cura deve se estender por no mínimo sete dias.

2.4 Resistência Ao Fogo

Os vários experimentos com a borracha levaram Charles Goodyear confirmar que a borracha cozida com enxofre, a altas temperaturas, mantinha as condições de elasticidade ao calor ou ao frio. Foi então que se aprimorou o processo de vulcanização da borracha, que dava forma ao pneu e aumento da segurança nas freadas e diminuição das trepidações nos carros. (PENNA, 2017).

Com a possibilidade de incorporar a fibra de borracha no tijolo ecológico, surge o questionamento, caso ocorresse de pegar fogo uma estrutura construída com esse material, o que aconteceria com a mesma, visto que a borracha sofre alterações quando submetida a altas temperaturas. (GONÇALVES, 2013).

Para entender e analisar o que aconteceria com uma estrutura com a adição da fibra de borracha foi seguida a NBR 10636/1989, que trata da determinação da resistência ao fogo em paredes divisórias sem função estrutural. Essa norma estabelece o método de ensaio, classifica e gradua as paredes e divisórias, quanto à resistência ao fogo.

2.5 Resistência Mecânica

Quando um material é submetido a altos carregamentos, seja ele de tração ou compressão, ele tende a se romper. A resistência mecânica é considerada a mais importante propriedade quando se fala em materiais estruturais. Quando um material possui sua resistência mecânica elevada, é possível que se reduza o peso de uma estrutura. (DALCIN, 2007).

2.6 Análise Microestrutural Mev

Microscópio eletrônico de varredura (MEV) permite adquirir informações químicas e estruturais de amostras com diferentes tipos de materiais. Permite analisar nos materiais a microestrutura e relacionar as propriedades e defeitos, possibilitando aplicação destes materiais. O MEV faz a varredura de uma área por um fino feixe de elétrons que interage com a superfície da amostra, então, surgem os elétrons secundários, raios X, fótons elétrons retro-espalhados, entre outros. Essa varredura fornece informações sobre a amostra (composição, cristalografia, etc). Os elétrons secundários são incumbidos pelas imagens de alta resolução das amostras, já os elétrons retro-espalhados fornecem imagens das variações de composição de um material. (SOUZA, [s.d]).

3 | METODOLOGIA

Uma pesquisa científica é um processo que explica e discute fenômenos fundamentados na verificação de hipóteses. (GARCIA, 2015).

Inicialmente buscou-se realizar pesquisas sobre o tijolo ecológico e os pneus de descarte, para obter o maior número de informações possíveis para desenvolver o projeto. Os materiais e métodos utilizados para a fabricação dos corpos-de-prova referência (solo cimento) e os corpos-de-prova solo cimento com adição da borracha, buscaram avaliar as características do solo com adição das fibras de borracha de pneus, apontando os resultados dos ensaios mecânicos, a análise MEV (microscópio eletrônico de varredura), da composição química e física do solo, absorção de água e resistência ao fogo. Os resultados obtidos foram analisados e comparados junto às bibliografias, para verificar sua qualidade.

Para dar conta do objetivo, foi necessário realizar uma pesquisa explicativa. O projeto em questão vem com o propósito de mostrar que é possível construir sem prejudicar o meio ambiente, com grande economia no custo final da obra e também melhorias nas propriedades do mesmo.

A seguir, o fluxograma (figura 03) apresenta as etapas realizadas da pesquisa.

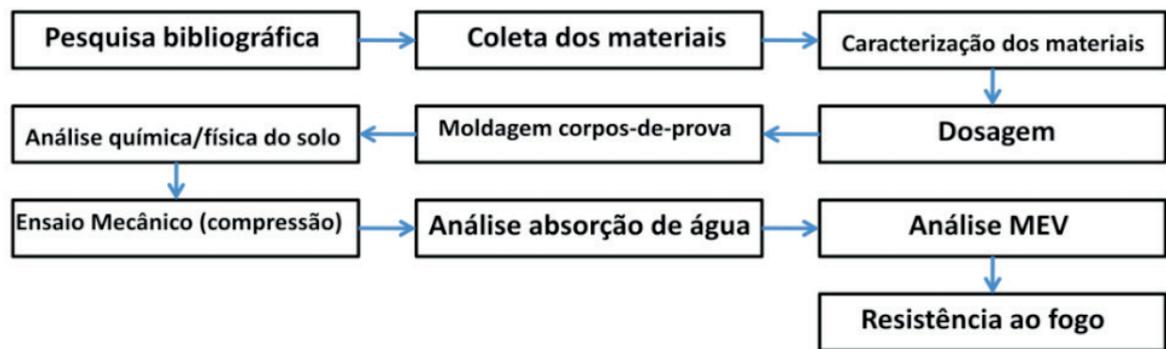


Figura 03 – Etapas da pesquisa.

Fonte: Autoras (2018).

Em um primeiro momento foi feita a pesquisa bibliográfica, onde se procurou absorver o maior número de informações possíveis sobre o assunto escolhido. Posteriormente, foi realizada a coleta dos materiais que seriam necessários (areia, cimento, borracha e solo), feita a caracterização dos mesmos, escolha do traço que foi 1:10 (cimento:solo) e dosagem. Depois de definido os materiais, traços e dosagem, os corpos-de-prova foram moldados. Uma amostra do solo utilizado foi submetida a análises químicas e físicas. Os ensaios mecânicos (compressão) ocorreram com 7, 14 e 28 dias de cura dos corpos-de-prova. Os demais ensaios (MEV, absorção de água e resistência ao fogo) foram realizados após o período de cura total, 28 dias.

4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir serão apresentados todos os resultados obtidos através dos ensaios, em laboratório, em que foram analisadas as características do solo, areia e da borracha, também quanto cada traço, com suas respectivas porcentagens de borracha, suportaram a compressão, como os protótipos de parede agiram quando submetidos a ação do fogo, as análises de absorção de água e sobre o MEV.

Vale frisar que o objetivo desse trabalho é avaliar a possibilidade da utilização da fibra de borracha, como material complementar na fabricação do tijolo solo cimento, buscando aprimorar as propriedades do mesmo.

4.1 Caracterização da Areia

A caracterização se baseou nos ensaios de granulometria, massa unitária, massa específica e teor de material pulverulento.

A análise granulométrica dos materiais foi calculada pela porcentagem de material retido em cada abertura de peneira. Com os valores obtidos, foi possível determinar os valores do módulo de finura e a dimensão máxima característica. Os ensaios referentes à massa específica e unitária seguiram a NM 45/2006 e a NM 52/2009.

Foram utilizadas duas amostras para obtenção do resultado final, efetuando a média das duas. Foi levado em consideração que a máxima variação entre as amostras, não poderia passar de 1% para a massa unitária e de 0,02 g/cm da massa específica. O ensaio para determinar o teor de material pulverulento, também foi utilizado duas amostras, e feita à média entre elas.

Os resultados referentes ao ensaio de caracterização da areia estão apresentados na tabela 10.

Caracterização da areia				
Análise granulométrica		Massa unitária (g/cm ³)	Massa específica (g/cm ³)	Teor de material pulverulento (%)
Dmáx (mm)	Módulo de Finura			
2,36	2,04	1,69	2,66	21,6

Tabela 10 – Caracterização da areia

Fonte: Autoras (2018).

Comparando os resultados obtidos, com a Norma NBR 7211/2009, o agregado miúdo (areia) possui módulo de finura menor ao limite determinado por norma, o módulo de finura na zona utilizável pela norma é de 1,55 a 2,20. A dimensão máxima a massa unitária e a massa específica estão dentro dos parâmetros especificados por Norma. O teor de material pulverulento verifica a quantidade de finos presentes na amostra do material em análise, com a análise do material feita foi possível verificar que o índice de finos é de 21,6%.

4.2 Análises Do Solo

O solo passou por análises químicas, físicas, limites de plasticidade e de consistência. Os resultados obtidos, sobre os limites de consistência do solo, foram satisfatórios, como mostra a tabela 11.

Limites de consistência			
LL	LP	IP	IC
29,48	3,52	25,96	0,67

Tabela 11 – Limites de consistências

Fonte: Autoras (2018).

Com os valores de LL e LP pode-se fazer a verificação do índice de plasticidade (IP) e de consistência (IC), onde os valores apontam, segundo Varela (2011), que o solo é considerado muito plástico e de consistência média, nem mole e nem duro.

O resultado da análise química e física, feita pelo laboratório Maravilha, foi possível verificar que 57 % do solo é composto por argila, 23 % de silte e apenas 20% areia. Um solo considerado do tipo 3, ou seja, solos com textura argilosa e com teor

de argila maior ou igual a 35%.

Com esse resultado foi possível determinar com maior precisão a quantidade de areia que seria necessária para equilibrar esse solo. Metade da porcentagem de solo utilizado para cada traço foi substituído por areia, o que proporcionou um teor de areia entre 40 a 60%.

4.3 Análises Nos Corpos-De-Prova No Estado Endurecido

Para obtenção dos resultados de resistência à compressão, os ensaios foram realizados com 7, 14 e 28 dias, os quais estão apresentados no gráfico 02.

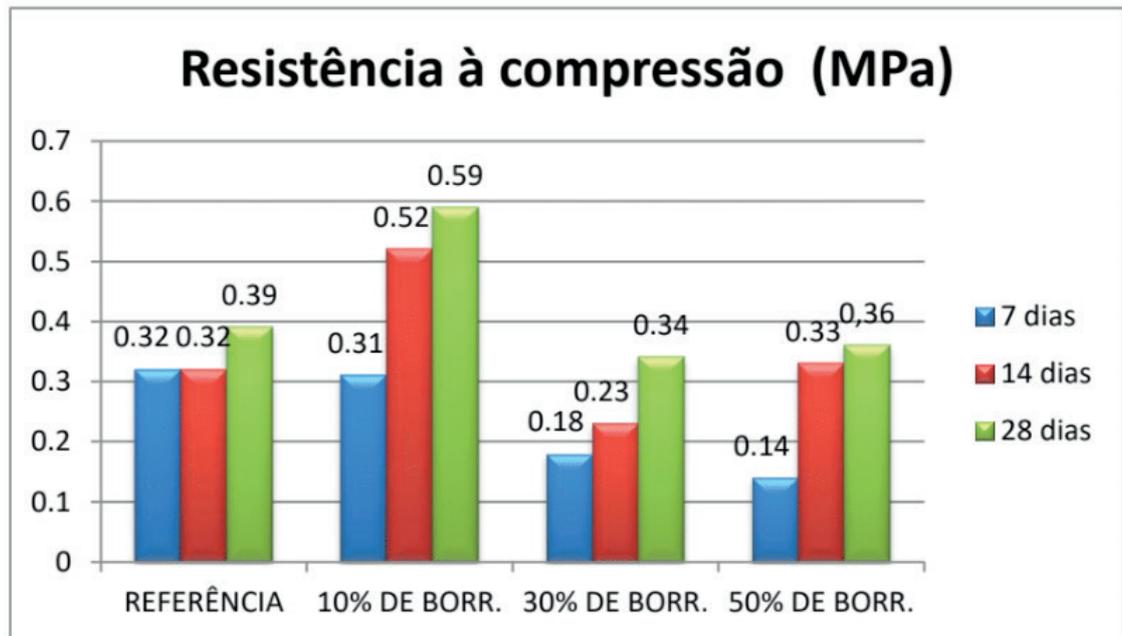


Gráfico 02 – Ensaio de resistência à compressão.

Fonte: Autoras (2018).

Como se pode observar, a resistência aumentou na amostra com 10% de fibra. Quando os corpos-de-prova estavam com apenas 7 dias de cura, a resistência da amostra referência era maior do que as demais, resistindo a 0,32 MPa. Porém, com o decorrer dos dias de cura, as massas com adição da borracha obtiveram resultados melhores, sendo que o melhor resultado foi os corpos-de-prova com 10% de fibra inserida, que aos 28 dias chegou a 0,59 MPa de resistência à compressão.

Presa (2011) fez o comparativo de resistência a compressão do tijolo solo cimento, com idades de cura diferentes, 7 e 28 dias. Aos 7 dias obteve 1,82 MPa de resistência a compressão, já aos 28 dias, obteve-se 2,2 MPa.

Os resultados obtidos por Presa (2011) foram satisfatórios, atenderam os requisitos mínimos prescritos em norma (NBR 8492/84), que diz que o valor mínimo de resistência à compressão que um tijolo solo cimento deve obter é de 2,0 MPa, aos 28 dias de cura. Como mostra o gráfico 02, a resistência encontrada com o rompimento dos corpos-de-prova referência, aos 28 dias, suportaram 0,39 MPa, que por norma

(NBR 8492/84) não é um resultado satisfatório.

Aos 28 dias de cura, também foi possível realizar os ensaios de absorção de água por imersão, como mostra o gráfico 03.

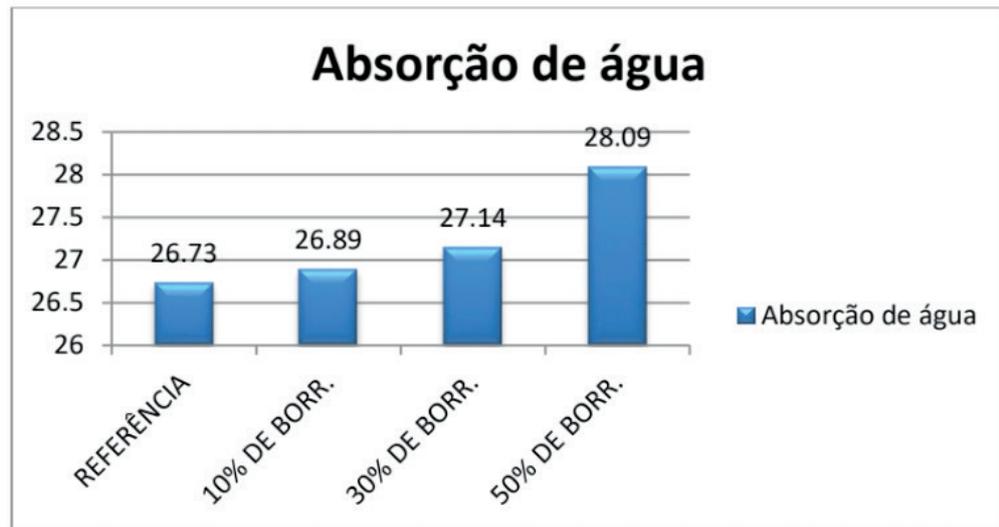


Gráfico 03 - Absorção de água por imersão e índice de vazios

Fonte: Autoras (2018).

Os resultados obtidos da absorção de água por imersão mostraram que ao adicionar a fibra de borracha, o índice de vazios aumentou. Quanto maior a porcentagem de borracha, maior a quantidade de ar entre os materiais. Porém, deve ser levada em consideração a pequena diferença da porosidade entre o traço referência e o traço com 10% de fibra.

Outra análise em que as amostras foram submetidas foi à realização da MEV. O intuito da realização da microscopia eletrônica de varredura foi analisar a porosidade das amostras. Os resultados do MEV estão apresentados nas imagens a seguir.

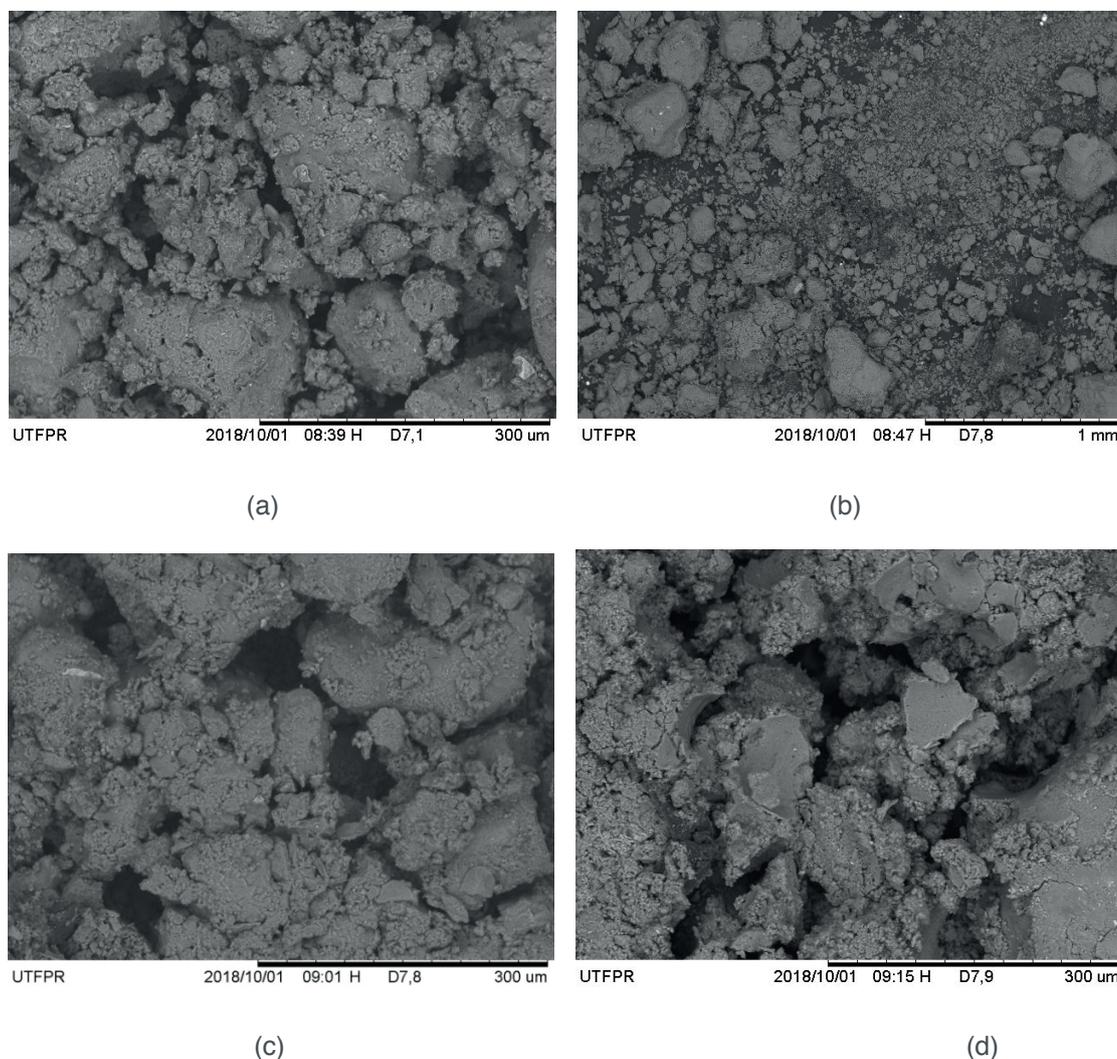


Figura 14 – Imagens obtidas por MEV: (a) amostra referência; (b) amostra 10% fibra; (c) amostra 30% fibra; (d) amostra 50% fibra.

Fonte: Autoras (2018).

Os resultados comprovam os resultados obtidos anteriormente. A figura 14 (a) mostra a superfície da amostra referência, onde pode ser analisado o tamanho dos poros e visto a pequena diferença entre o traço com 10% de fibra (figura 14 (b)). Já nas figuras 14 (c) e (d), são as que possuem 30 e 50% de fibra, observa-se como os poros são maiores. Ainda deve-se salientar que a coesão entre os materiais diminuem quando a porcentagem de fibra aumenta, ou seja, a fibra de borracha não dá aderência entre os materiais utilizados, o que seria um ponto negativo, pois sem coesão entre os materiais existe dificuldade no manuseio das peças e conseqüentemente diminuição da resistência da mesma.

4.4 Resistência Ao Fogo

Para obtenção dos resultados de resistência ao fogo, as análises foram realizadas aos 28 dias de cura. Os protótipos foram submetidos a temperaturas diferentes, para analisar o comportamento com as diferentes porcentagens de borracha, como mostra

na tabela 12.

Tempo (min)	Temperatura °C
5	100
10	150
15	200
30	300
1080	300

Tabela 12 – Tempo e temperatura em que os protótipos foram submetidos.

Fonte: Autoras (2018).

Segundo a NBR 10636/1989, devem ser avaliados as amostras após a elevação de cada temperatura, se ocorreram à formação de fissuras ou se apresentou deformações.

Após o ensaio ser realizado pode ser observado que os protótipos não apresentaram fissuras ou qualquer tipo de deformações, permaneceram intactos.

Pode-se observar também, depois das 18 horas a 300°C, quanto maior a porcentagem de fibra menor era a temperatura das amostras, isso quer dizer que em caso de uma residência construída com esse material, ocorra de pegar fogo, a borracha iria servir como um isolante, a fibra não iria reter o calor. Porém a borracha libera um cheiro forte e muita fumaça, o que é um ponto negativo, pois quando inalado, podem causar problemas respiratórios e levar uma pessoa a perda da consciência pelo intenso cheiro da fumaça.

Vale salientar que foi utilizada como equipamento para analisar a resistência ao fogo, uma estufa, com temperatura máxima de 300°C. E por não possuir um equipamento adequado para ser elevadas a todas as temperaturas especificadas por norma (NBR 10636/1989), foi adotado um tempo maior de exposição das amostras ao calor.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após analisar todos os resultados e compará-los, contatou-se que utilizar a fibra de borracha em 10%, pode ser uma solução viável. O traço com 10% de fibra apresentou melhores resultados comparado com o traço referência, lembrando que mesmo assim não ficou dentro dos resultados exigidos por norma (NBR 8492/84). Apresentou maior resistência mecânica à compressão, quanto à absorção de água, a diferença entre esses dois traços foi mínima, quando visto as amostras por um microscópio (MEV) a diferença da porosidade entre as duas amostras (0 e 10%) também foram mínimas. E quando submetidas às amostras a ação do fogo, as amostras com a fibra de borracha apresentaram menor retenção de calor, porém, com um ponto negativo que é a

liberação de fumaça e fortes cheiros.

A presença de 10% da fibra de borracha na massa do tijolo solo cimento, não prejudicou o seu desempenho, então se conclui que o uso deste material permite melhorias na propriedade mecânica (compressão) e sem diferenças significativas com demais propriedades (absorção de água e porosidade).

Portanto, ainda não se pode concluir que os resultados encontrados são totalmente satisfatórios. Para realmente comprovar que o uso da fibra de borracha seria uma boa solução, levaria mais tempo e vários outros ensaios e análises, como por exemplo, deixar o material exposto as intempéries por um período mais longo de tempo. Porém, vale salientar que a ideia de retirar o pneu do meio ambiente é um ponto muito positivo, por estarem sendo utilizados de uma forma correta, sem acúmulos do mesmo.

Desse modo, os resultados encontrados nas amostras com 10% de fibra, foram bons, por isso, seria ideal prosseguir com estudo e testar o material com essa porcentagem de fibra, para que se obtenham os resultados que a norma (NBR 8492/84) estabelece, que seriam os 2,0 MPa. Os traços com 30 e 50% de fibra, os resultados não foram significativos, não apresentaram grandes melhorias quando comparados com o traço referência, portanto foi descartada a possibilidade de utilização de porcentagens maiores.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 10636. Paredes divisórias sem função estrutural: determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 7211** – Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 5732** – Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 7217** - Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 1996.

_____. NBR 8492. Tijolo maciço de solo-cimento. Rio de Janeiro, 1984

BRASIL: Ministério da Saúde. Vírus zika no Brasil. Brasília – DF, 2017. Disponível em: < http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/virus_zika_brasil_resposta_sus.pdf>. Acesso em: 02 set. 2018.

DALCIN GABRIELI. Ensaios dos materiais. Santo Ângelo - Rio Grande do Sul, 2007.

GARCIA F. METODOLOGIA DA PESQUISA CIENTÍFICA: organização estrutural e os desafios para redigir o trabalho de conclusão. São Paulo, 2015. Disponível em: < http://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20170627112856.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2018.

GONÇALVES, P. Utilização do tijolo ecológico na construção civil. IPG Politécnico da Guarda. Portugal, novembro de 2013.

JASMINE. O que é sustentabilidade e sua importância para o planeta. Paraná, jun 2015.

JUNIOR CAMPOS et.al., **Cartilha produção de tijolos de solo-cimento**. Piracicaba – São Paulo,

2016.

MORAIS E. **Análise de viabilidade de aplicação do tijolo ecológico na construção civil contemporânea**. Minas Gerais, 2014.

PENNA L. et.al. DESTINAÇÃO FINAL DE PNEUS INSERVÍVEIS: estudo de caso – Governo Valadares. Minas Gerais, 2017

PEREIRA A.; FAZZAN J.; FREITAS V.; Análise da viabilidade do uso da fibra de borracha de pneu como reforço em tijolo de solo cimento. Revista nacional de gerenciamento de cidades, São Paulo, v. 03, n. 20, p. 53-65, 2015.

SCHMIDT F. Aplicação do conceito de sustentabilidade em uma edificação residencial unifamiliar– estudo de caso. Rio Grande do Sul, 2009

SOUZA C. M. Microscópio eletrônico de varredura. Piauí, [s.d]. Disponível em: <<https://www.portalsaofrancisco.com.br/biologia/microscopia-eletronica-de-varredura>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

SPECHT L. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus**. Rio Grande do Sul, 2004. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5192/000422319.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 02 set. 2018.

ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE ASSENTAMENTO DE SAPATAS DE REVESTIMENTO EM ÁGUAS PROFUNDAS

Geovanna Cruz Fernandes

Universidade Federal de Sergipe
São Cristóvão – Sergipe

Douglas Bitencourt Vidal

Universidade Federal da Bahia
Salvador – Bahia

Carla Salvador

Universidade Federal do Espírito Santo
São Mateus – ES

RESUMO: Em um projeto de poço de petróleo, o estudo das geopressões é uma etapa fundamental do planejamento. Este estudo foi desenvolvido com dados de um poço com lâmina d'água profunda localizado no Nordeste Brasileiro. Para tanto, determinou-se as pressões de poros, de sobrecarga, de fratura e colapso, como também as curvas necessárias para montagem da janela operacional que forneceram a variação das pressões do fluido exercidas na perfuração, a profundidade de assentamento das sapatas de revestimento, assim como o peso de fluido ideal. Foram realizadas simulações para obtenção de duas janelas operacionais. A primeira, feita com assentamento de sapatas de baixo para cima, com uma margem de segurança de 0,5 lb/gal, já a segunda, considerando o critério de tolerância ao *kick* diferencial mínima com assentamento de cima para baixo. Para a primeira simulação,

assentou-se quatro sapatas, correspondendo a um revestimento de superfície, dois intermediários e um de produção. Para a segunda simulação, também foram assentadas quatro sapatas, sendo os revestimentos intermediários mais elevados. Porém, analisado o critério de diferencial de pressão, houve a necessidade de se assentar às mesmas profundidades da primeira simulação, a fim de que se evitasse riscos de prisão da coluna, logo, as profundidades de assentamento coincidiram em ambas as simulações.

PALAVRAS-CHAVE: Geopressões, Janela operacional, Revestimento, Sapatas.

ABSTRACT: In an oil well project, the study of geopressions is a fundamental step in planning. This study was developed with data from a well with deep water depth located in the Brazilian Northeast. In order to do so, the pore, overload, fracture and collapse pressures were determined, as well as the curves necessary for the assembly of the operating window that provided the variation of the fluid pressures exerted in the drilling, the depth of settlement of the coating shoes, as well as the ideal fluid weight. Simulations were performed to obtain two operating windows. The first, made with bottom-up shoe-laying, with a safety margin of 0.5 lb/gal, and the second, considering the minimum differential kick tolerance criterion with

top-down seating. For the first simulation, four shoes were seated, corresponding to a surface coating, two intermediates and one of production. For the second simulation, four shoes were also seated, the intermediate coatings being higher. However, when the pressure differential was analyzed, it was necessary to settle to the same depths of the first simulation, in order to avoid risks of imprisonment of the column, so that the depths of settlement coincided in both simulations.

KEYWORDS: Geopressions, Operating window, Finishing, Shoes.

1 | INTRODUÇÃO

A elaboração de um projeto de poço é uma das etapas do planejamento que se inicia com um estudo da área de interesse e resulta em um levantamento e análise de dados da locação. O estudo das geopressões de um poço possibilita garantir a estabilidade e segurança na construção de um poço, além de verificar se é economicamente viável (SILVA, 2016).

Através da janela operacional é possível identificar o peso ideal do fluido, a profundidade de assentamento das sapatas de revestimento, com o objetivo de evitar a ocorrência de *kick*, fraturas ou colapso do poço, por isso ela deve ser levada em consideração na etapa da perfuração (JUNQUEIRA, 2014).

É pela janela operacional que também se determina a variação máxima de pressão exercida pelo fluido do poço, visando a integridade do mesmo. Estes limites são estabelecidos pela pressão de poros, de fratura e de colapso. O peso do fluido também pode ser determinado com o auxílio da janela operacional, já que a cada profundidade um fluido mais e menos denso deverá ser utilizado (RAMIREZ PERDOMO, 2003).

Os projetos de poços são elaborados pelas correlações empíricas que permitem o cálculo dos gradientes de pressão, assim como dados da sísmica do poço e testes de medição indireta e direta, como *Leaf off test* (LOT) e curva de tendência de compactação normal. Assim, este trabalho é um esboço de dois projetos para o assentamento de sapatas de revestimento, cujo objetivo é apresentar uma análise dos critérios para elaboração destes, como tolerância ao *kick* e diferencial de pressão, respeitando as limitações do poço e da formação e, assim, auxiliar na escolha de um fluido de perfuração adequado para a atividade de perfuração.

2 | METODOLOGIA

O objeto de estudo deste trabalho foi um poço com lâmina d'água profunda localizado no Nordeste Brasileiro. Devido à confidencialidade dos dados, o poço é referido como A, cujas informações foram cedidas pela empresa B. Na Tabela 1 são apresentados os dados de entrada do simulador. O processamento dos dados foi feito no *software* Microsoft Office Excel 2007.

Lâmina d'água	1000 m
Profundidade final	4500 m
Air gap	25 m
Altura do <i>kick</i>	88 m
Densidade do fluido invasor	2 lb/gal
Tolerância ao <i>kick</i> diferencial mínima	0,5 lb/gal
Valores de LOT dos poços de correlação	2000 m – 11,1 lb/gal
	3000 m – 12,1 lb/gal
	4000 m – 15,4 lb/gal
Dados de <i>kick</i> dos poços de correlação	Profundidade de ocorrência – 4100 m
	SIDPP – 643 psi
	Fluido de perfuração – 11 lb/gal

Tabela 1 – Dados de entrada do simulador

Fonte: Autor

Cada rocha possui características diferentes, sejam elas mineralógicas, litológicas, paleontológicas, ou sejam físicas, etc. Desta forma, é necessário conhecer características da rocha e do poço, como a densidade ou massa específica da formação (DOS SANTOS, 2015).

Para se obter a curva do gradiente de sobrecarga, deve-se estimar a densidade da formação a partir do perfil sônico, através do método de Gardner (1974), expressa pela Equação 1:

$$\rho_b = a * \left(\frac{10^6}{\Delta t} \right)^b, \left(\frac{g}{cm^3} \right) \quad (1)$$

No qual a e b são 0,23 e 0,25, constante e expoente empíricos, respectivamente. Com os valores de densidade calculados e, aplicando-se a massa específica da formação, obtêm-se as pressões de sobrecarga (σ_{ov}) e gradientes de sobrecarga (G_{ov}), através das Equações 2 e 3:

$$\sigma_{ov} = 1,422 \cdot \left(\rho_w \cdot D_w + \sum_0^n \rho_{bi} \cdot \Delta D_i \right), (psi) \quad (2)$$

Em que temos: ρ_{bi} = densidade de cada camada da formação, g/cm³; ρ_w = densidade da água do mar, g/cm³; D_w = lâmina d'água, metros; ΔD_i = intervalos de profundidade, metros. Uma vez obtida a pressão de sobrecarga, pode-se calcular o gradiente de sobrecarga, através da Equação 3:

$$G_{ov} = \frac{\sigma_{ov}}{0,1704 \cdot D_{total}}, \left(\frac{lb}{gal} \right) \quad (3)$$

Com os valores obtidos, obtêm-se o gráfico do gradiente de sobrecarga. Para

calibrar a curva ao longo do poço, é necessário calcular a pressão de poros em um ponto a partir dos dados do *kick*, utilizando-se a Equação 5:

$$G_p = \frac{SIDPP + 0,1704 * \rho_{mud} * D_h}{0,1704 * D_h} \quad (4)$$

Onde D_h é a profundidade e P_{mud} é o peso do fluido. Para a determinação da curva de compactação normal (*trend line*), plota-se o gráfico de profundidade *versus* tempo de trânsito, selecionando dois pontos pertencentes à reta para calcular o coeficiente angular m . Comumente, a curva de tendência de compactação normal é aproximada de uma reta de um gráfico semilogarítmico (FERREIRA, 2010). Sabe-se que poços de correlação não apresentaram valores em excesso para torque, *drag*, gás de conexão e manobra no intervalo 1000-3000 m, logo, os pontos selecionados devem estar nesse intervalo. A Equação 5 é utilizada para cálculo do m . Após encontrar o valor do coeficiente m , calcula-se o tempo de trânsito normal, utilizando-se a Equação 6:

$$m = \frac{\log(\Delta t_2) - \log(\Delta t_1)}{D_2 - D_1} \quad (5)$$

$$\Delta t_n = \Delta t_1 \cdot 10^{m(D - D_1)}, (\mu s/ft) \quad (6)$$

Em que Δt_1 é o tempo de trânsito nas profundidades onde ocorreu a compactação normal e D é a profundidade de interesse da reta de tendência. Para se estimar o gradiente de pressão de poros pode-se utilizar o método de Eaton (1975), que utiliza o expoente 2 quando se trata de bacias brasileiras através de dados do perfil sônico, logo, pela Equação 7, tem-se:

$$G_p = G_{ov} - \left[(G_{ov} - G_N) * \left(\frac{\Delta t_N}{\Delta t_0} \right)^2 \right] \quad (7)$$

Em que G_N é o gradiente de pressão de poros normal. Utilizando o método indireto de tensão mínima, estima-se o gradiente de fratura. Para isso, é necessário que se empregue os três dados de LOT disponíveis na área para que se obtenham três valores pontuais de K , através da relação, desenvolvidas por Hubert & Willis (1957). Traçando-se uma curva de interpolação entre os três valores de K pontuais e a profundidade de sedimentos obtêm-se uma curva que, quando ajustada irá fornecer uma equação para cálculo do K ajustado ao longo de todo o poço. Por fim, pode-se estimar o gradiente de fratura. As Equações 8, 9 e 10 evidenciam esses cálculos:

$$K = \frac{LOT - G_p}{G_{ov} - G_p} \quad (8)$$

$$K = a * \ln(D_s) + b \quad (9)$$

$$G_F = G_p + K(G_{ov} - G_p) \quad (10)$$

As equações para obtenção dos gradientes se completam até chegar ao gradiente de pressão de fratura. Considerando uma margem de segurança de 0,5 lb/gal, é possível a construção da janela operacional e o posterior assentamento de sapatas.

A simulação 1 foi feita adotando-se o um diferencial de pressão máximo de 2000 psi para o assentamento de sapatas, que foi feito de baixo para cima. Já a simulação 2 deve ser feita com base na tolerância ao *kick*, que é calculado pela Equação 11 a seguir, para cada intervalo de profundidade:

$$\Delta\rho_{kt} = \frac{D_{fm} * (G_F - \rho_{mud})}{D_h} - \frac{h_k * (\rho_{mud} - \rho_k)}{D_h} + \rho_{mud} - G_P \quad (11)$$

Para o cálculo do peso do fluido adequado, utilizou-se a Equação 12, que é a média entre as pressões de poros e fratura, que é igual à tensão horizontal:

$$\sigma_H = \frac{P_p + P_F}{2} \quad (12)$$

A partir de dados do perfil sônico fornecidos, estimou-se as geopressões, elaborando em seguida a janela operacional do poço e a partir dela definindo as profundidades de assentamento das sapatas, bem como a definição do peso de fluido de perfuração que deveria ser utilizado em cada fase do projeto.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando-se a Equação 1, calculou-se a densidade de cada camada da formação e assim, obteve-se a pressão de poros e o gradiente de sobrecarga. Através dos dados, plotou-se a curva do gradiente de sobrecarga. Com os dados do *kick* e a uma profundidade de 4100 m, obteve-se a pressão de poros, igual a 11,92 lb/gal. Para outras profundidades, a pressão de poros apresentou valores negativos. Isso pode ser justificado pela reta *trend line*, ou pelo valor utilizado na constante de Eaton. A Figura 1 mostra o comportamento da curva de sobrecarga e da reta de tendência normal:

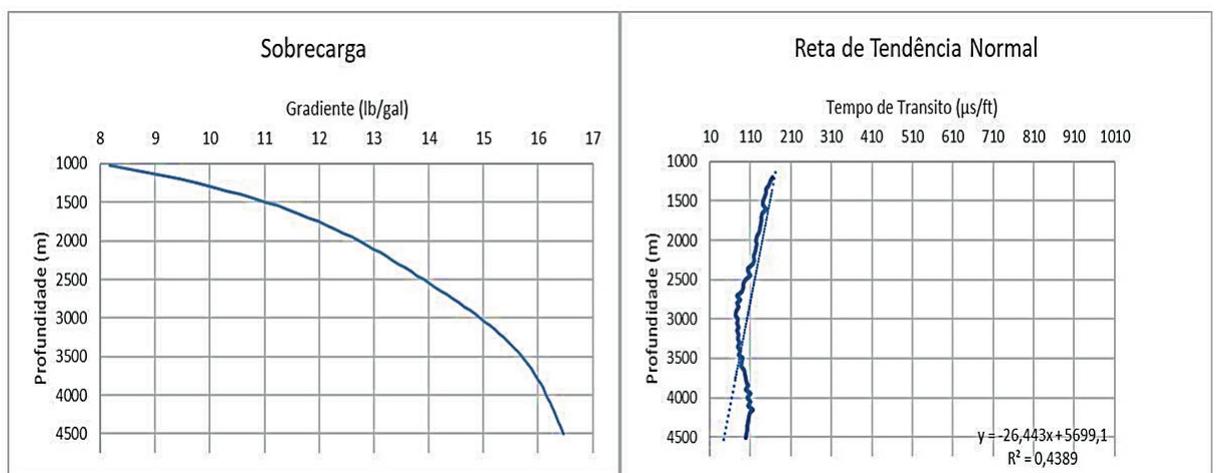


Figura 1 – Curva do gradiente de sobrecarga e reta de tendência de compactação normal

Fonte: Autor

Dois pontos pertencentes à reta foram selecionados e, através da Equação 5, calculou-se o coeficiente m. Os pontos selecionados foram nas profundidades de 1300 e 2100 m, com tempo de 155 e 124, respectivamente. Logo o m obtido foi igual a -0,000121.

Para a estimativa do gradiente de fratura, utilizou-se os dados de LOT fornecidos e obteve-se valores pontuais para K, através da Equação 8. Com os valores de K pontual, traçou-se uma curva de K *versus* profundidade de sedimentos, obtendo-se um ajuste da curva para que se pudesse obter um K ajustado ao longo de todo o poço.

A equação fornecida pelo ajuste da curva é a Equação 13 a seguir:

$$K = 0,1825 \ln(D_s) - 0,609 \quad (13)$$

Através destes dados e da Equação 9, obteve-se o gradiente de fraturas e a janela operacional.

A simulação 1 foi feita com assentamento de sapatas de baixo para cima, com uma margem de segurança de 0,5 lb/gal e a simulação 2 considerando-se o critério de tolerância ao *kick* diferencial mínima com assentamento de cima para baixo. A Figura 2 e 3 mostram o modelo de assentamento de sapatas para cada simulação:

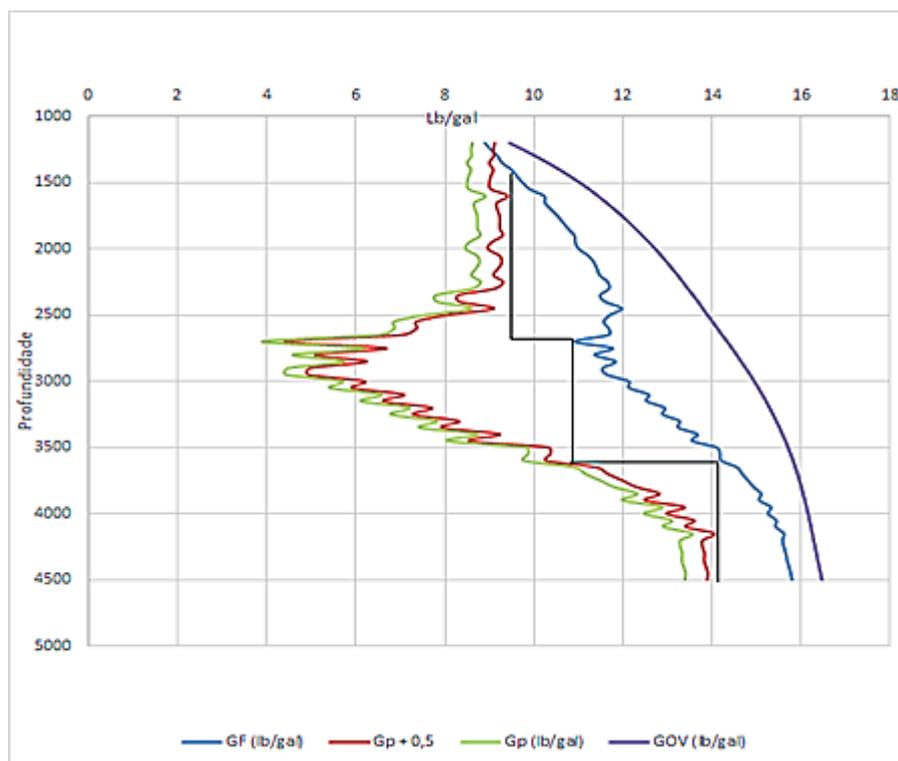


Figura 2 – Janela operacional da Simulação 01

Fonte: Autor

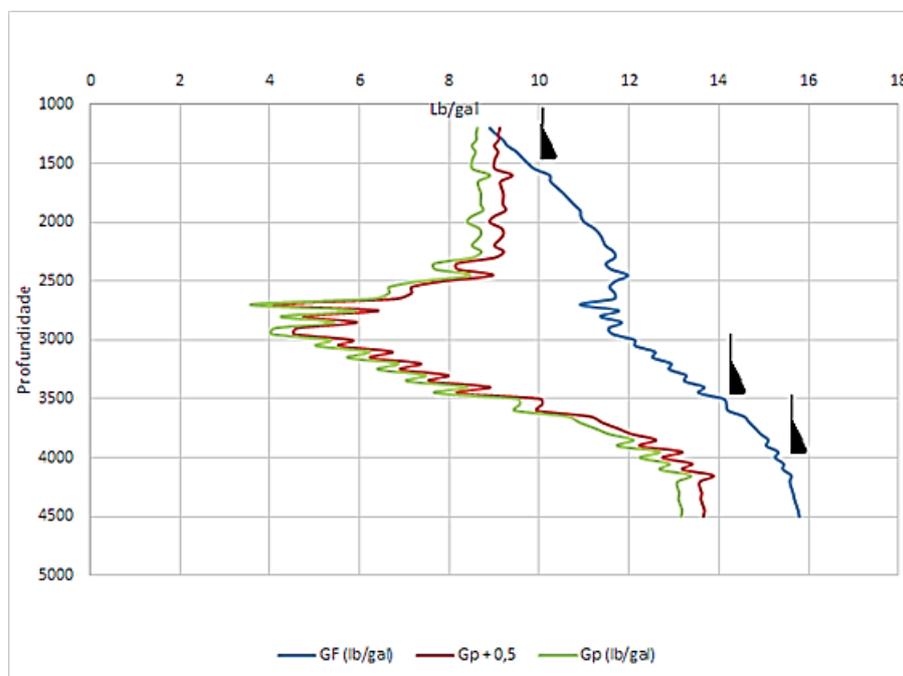


Figura 3 – Janela operacional da Simulação 02

Fonte: Autor

Tendo obtido os dados de profundidade da sapata a partir dos critérios mencionados, pode-se estimar o peso do fluido a ser utilizado em cada fase com base na média entre o maior gradiente de poros da fase e o menor gradiente de fratura atravessados na fase, como mostra a Equação 12. Assim, têm-se a Tabela 2:

Fase (")	Profundidade da sapata	P_{mud} (lb/gal)	$G_p + 0,5$ (lb/gal)	(lb/gal)
26	1450	9,3	9,03	9,62
17 ½	2700	9,4	4,41	10,91
12 ¼	3600	10,5	10,02	14,21
8 ¾	4500	14,7	13,65	15,79

Tabela 2 – Peso de fluido para a Simulação 1

Fonte: Autor

A primeira sapata corresponde ao revestimento de superfície, fixada em 1450 m, de acordo com especificações da literatura (ROCHA; AZEVEDO, 2009). A segunda e terceira sapatas estão fixadas em 2700 m e 3600 m e correspondem aos revestimentos intermediários. A última sapata refere-se ao revestimento de produção, e deverá ser assentada a 4500 m. Também foi levado em consideração o critério de diferencial de pressão, para o qual deveria ser assentado uma sapata nas profundidades em que as diferenças de pressão entre o poço e a formação excedessem 2000 psi. Esse diferencial foi alcançado na profundidade de 2700 m, entretanto, utilizando-se o assentamento com base apenas na janela operacional, uma sapata já havia sido assentada. Desta maneira, nenhuma sapata extra precisou ser assentada, logo o Tabela 2 fornece um projeto satisfatório.

Em relação à simulação 2, dados como altura do *kick* e densidade do fluido invasor foram avaliados e a análise da intolerância ao *kick* sugerem que quando, durante a perfuração tiver $\Delta\rho_{kt} \leq \Delta\rho_{kt\ min} = 0,5\ lb/gal$ deve-se assentar uma sapata. O peso de fluido (P_{mud}) utilizado no cálculo para a profundidade da sapata da fase 2 é igual ao gradiente de poros (G_p) daquela profundidade mais 0,5 lb/gal. Profundidade do poço (D_h) é constante e igual a 4500 metros, a formação mais fraca que se encontra na sapata da fase anterior a uma profundidade (D_{fm}) de 1450 metros possui gradiente de fratura (G_f) igual a 9,62 lb/gal. Substituindo os dados mencionados na equação e variando os valores de P_{mud} e G_p , verificamos que a sapata deve ser assentada na profundidade de 3450 metros, pois para valores acima disso $\Delta\rho_{kt} \leq \Delta\rho_{kt\ min} = 0,5\ lb/gal$, que é o critério para assentamento com base na tolerância ao *kick*.

Fase (")	Profundidade da sapata	P_{mud} (lb/gal)	G_f (lb/gal)	$\Delta\rho_{kt}$
26	1450	9,3	-	-
17 ½	3450	9,3	9,62	0,843
12 ¼	4000	13,0	13,55	0,912
8 ¾	4500	14,5	15,25	1,69

Tabela 3 – Peso de fluido para a Simulação 2

Fonte: Autor.

A primeira sapata, correspondente ao revestimento de superfície, foi fixada a 1450 m. A segunda e terceira sapatas, assentadas em 3450 e 4000 m, correspondem ao critério de tolerância ao *kick*, que leva em consideração a ocorrência de um influxo da formação para o poço (*kick*), sendo esta última fixada para que seja possível o aumento do peso do fluido aplicado para a fase seguinte. Entretanto, utilizando o critério de diferencial de pressão, observa-se que a partir da profundidade de 2700 metros, o aumento do peso do fluido passa a acontecer gradativamente, além de que o diferencial entre o poço e a formação se torna superior a 2000 psi, o que acaba gerando riscos de prisão de coluna por diferencial de pressão, sendo necessário assentar outra sapata nesta profundidade. Assim, a simulação 2 nos fornece um novo assentamento com as mesmas profundidades de assentamento de sapatas da simulação 1 e conseqüente aumento no peso do fluido de perfuração, que deve sofrer oscilações graduais, garantindo um diferencial de pressão positivo sem que seja necessário assentar novo revestimento, além de respeitar o limite superior de fratura, como mostra a Tabela 3 acima.

4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentadas as etapas da construção de uma janela operacional de um projeto de poço que contemplou a operação de perfuração e

assentamento de sapatas de revestimento. Os parâmetros e critérios utilizados na metodologia são os mesmos adotados por companhias da indústria petrolífera e referenciados por grandes engenheiros e autores. A simulação 1 foi feita com assentamento de sapatas de baixo para cima, com uma margem de segurança de 0,5 lb/gal, onde a primeira sapata fixada em 1450 m, a segunda e terceira sapatas estão fixadas em 2700 e 3600 m e última sapata refere-se ao revestimento de produção, e deverá ser assentada a 4500 m, com o peso de fluido de 14,7 lb/gal. Na simulação 2 foi considerado o critério de tolerância ao *kick* diferencial mínima com assentamento de cima para baixo. Ela nos fornece um novo assentamento com as profundidades de assentamento de sapatas semelhantes a simulação 1, onde houve um aumento no peso do fluido de perfuração, garantindo um diferencial de pressão positivo, respeitando o limite superior de fratura. O projeto respeitou as finalidades e limitações do poço e da formação, mostrando-se satisfatório, além de evitar acidentes, contribuiu para o aumento da vida útil do poço e da produção. Também foi possível escolher corretamente o fluido de perfuração bem como o assentamento de sapatas.

REFERÊNCIAS

- DOS SANTOS, João Paulo Lobo et al. Projetos de Poços: um Estudo de Caso na Bacia Sergipe-Alagoas. **RUnPetro-ISSN 2316-6681**, v. 3, n. 2, p. 31-39, 2015.
- EATON, B. The Equation for Geopressure Prediction from Well Logs. **SPE Journal** 5544, 1975.
- FERREIRA, C. D. **Novo método para estimativa do gradiente de fratura para poços de petróleo**. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.
- GARDNER, G.H.F, GARDNER, L.W., GREGORY, A.R.. Formation Velocity and Density – The diagnostic basis for stratigraphic traps, **Geophysics**, Volume 39, Number 6, pp. 2085 – 2095, 1974.
- HUBBERT, M. K., and WILLIS, D. G. Mechanics of Hydraulic Fracturing. AIME Petroleum Transactions, V. 210, p. 153-168, 1957.
- JUNQUEIRA, Cecília Pinheiro et al. A Prática da Estabilidade de Poços: Exemplos do Brasil. 2014.
- RAMIREZ PERDOMO, Paul Richard et al. Metodologia para determinar as profundidades de assentamento das sapatas dos revestimentos de poços de petróleo em águas profundas. 2003.
- ROCHA, Luiz Alberto Santos; AZEVEDO, Cecília Toledo de. Projeto de Poços de Petróleo: geopressões e assentamentos de colunas de revestimentos. Rio de Janeiro. **Interciencia, Petrobras**, 2009.
- SILVA, Aquiles Oliveira Mendes da et al. Perfuração e Completação de Poços HPHT. 2016.

A EXPLORAÇÃO DAS AREIAS BETUMINOSAS DO CANADÁ: UM EXEMPLO DE RESERVATÓRIO NÃO CONVENCIONAL

Paulo Sérgio Lins da Silva Filho

Centro Universitário Tiradentes (UNIT/AL),
Departamento de Engenharia de Petróleo
Maceió – Alagoas

Fabiano dos Santos Brião

Centro Universitário Tiradentes (UNIT/AL),
Departamento de Engenharia Ambiental
Maceió – Alagoas

RESUMO: A exploração de petróleo no mundo ocorre de maneiras diferentes, pois a mesma depende das condições de cada ambiente. Existe uma crescente demanda por petróleo. Com o desenvolvimento tecnológico e social dos países, existe uma maior demanda por energia. O petróleo é a principal fonte de energia utilizada no planeta, e com o aumento da demanda, novos métodos de exploração tiveram que ser criados para poder extrair e tornar viável a exploração do óleo, presente nas diversas reservas descobertas nos últimos anos. No entanto, a viabilidade econômica do petróleo explorado depende do valor do barril de petróleo e da qualidade do óleo (a maior parte do mundo utiliza o petróleo BRENT como referência). Com o intuito de mostrar uma forma de exploração diferente da realizada no Brasil e no resto do mundo, o presente artigo visa apresentar a exploração feita na província de Alberta, no Canadá, que contém cerca de

95% de todo o petróleo do país localizado na América do Norte.

PALAVRAS-CHAVE: Exploração de petróleo, Energia, Canadá.

ABSTRACT: The exploration of oil in the world occurs in different ways, as it depends on the conditions of each environment. There is a growing demand for oil. With the technological and social development of countries, there is a greater demand for energy. Oil is the main source of energy used on the planet, and as demand increases, new exploration methods have to be created in order to extract and make feasible oil exploration, present in the various reserves discovered in recent years. However, the economic viability of exploited oil depends on the value of the barrel of oil and the quality of the oil (most of the world uses BRENT oil as a reference). In order to show a different form of exploration than that of Brazil and the rest of the world, this article aims to present the exploration carried out in the province of Alberta, Canada, which contains about 95% of all the country's oil located in the North America.

KEYWORDS: Oil exploration, Energy, Canada.

1 | INTRODUÇÃO

A definição de petróleo vem do latim: *petra*

(pedra) e *oleum* (óleo), ou seja, óleo da pedra. O petróleo de forma simplificada pode ser definido como uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, com cheiro característico e coloração variando entre o negro e o castanho-claro (THOMAS, 2004).

O petróleo tem sua origem há milhares de anos através de restos mortais de seres que depositados no solo durante muito tempo formaram, juntamente com outros sedimentos, uma camada de material orgânico. Ao longo de milhões de anos essa camada foi sendo coberta por outras camadas de sedimentos que pela ação de microrganismos, bactérias, altas pressões e temperatura se transformaram em petróleo (THOMAS, 2004).

A qualidade do petróleo encontrado no Brasil não é a mesma do petróleo encontrado nos Estados Unidos, por exemplo. Para classificar os diferentes óleos foi criado, pelo American Petroleum Institute, o grau API, que é uma classificação dos tipos de óleo, baseado na densidade em relação à água e nos compostos misturados ao petróleo (THOMAS, 2004). Ver Figura 1.

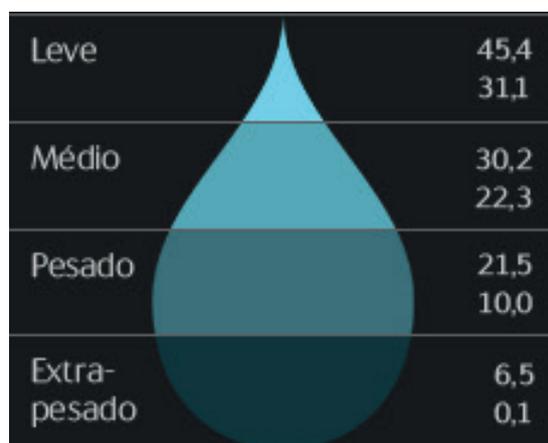


Figura 1: Classificação do petróleo segundo o grau API.

Fonte: Universo Fóssil.

O petróleo é encontrado em reservatório, podendo o último estar em pequenas, médias ou grandes profundidades. Para ocorrer à acumulação do petróleo a rocha reservatório tem que ser porosa no seu interior, e que esses poros estejam interconectados. As rochas reservatório podem ser arenitos, calcarenitos e todas as rochas sedimentares que contenham essas características (CARDOSO, 2005). Os reservatórios podem ser classificados como convencionais ou não convencionais.

Os reservatórios convencionais são os mais encontrados no planeta e são compostos basicamente por rocha geradora, rocha reservatório, rocha selante e trapas (ou armadilhas). Ver Figura 2.

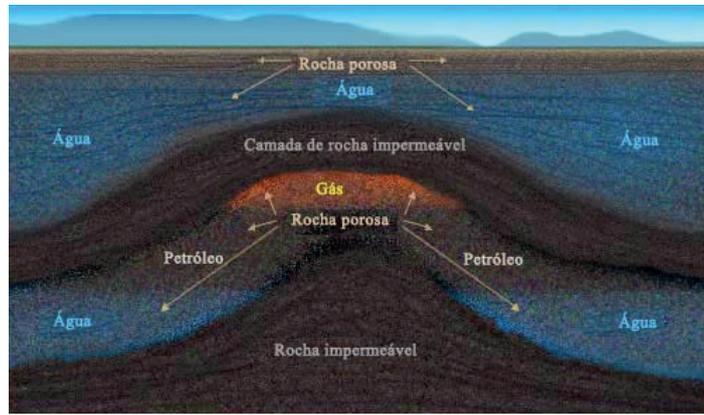


Figura 2: Reservatório convencional.

Fonte: PetroGasNews.

Os reservatórios não convencionais são os demais que não apresentam a formatação dos reservatórios convencionais. Como exemplo, existe o Gás de Folhelho, também conhecido como gás de xisto. Ele é um reservatório no qual os hidrocarbonetos em forma de gás se alojam em folhelhos, que é uma rocha sedimentar, a qual em reservatórios convencionais funciona como uma rocha geradora.

Na classificação de reservatórios não convencionais também se encaixam as areias betuminosas, que são uma mistura de areia, água, argila e betume. O betume é uma forma de petróleo composto por hidrocarbonetos de grandes cadeias (sendo assim, bastante denso). Outra característica do betume é a presença de metais pesados em sua composição, sendo alguns destes: níquel, vanádio, arsênio, chumbo e o mercúrio.

No Canadá, embora a exploração das areias betuminosas só tenha começado a ser realizada a partir da década de 60, já havia conhecimento de sua existência desde 1717. No início do século XX, achava-se que o óleo poderia ser extraído através da perfuração de poços. Um total de 24 poços foi perfurado entre 1906 e 1917 no país.

Em 1953 foi formado o Grande Consórcio das areias betuminosas, que virou a Suncor. Em seguida, outras empresas também começaram a explorar. Entretanto, a exploração só começou a se tornar viável a partir da década de 90, com o aumento do valor do barril de petróleo.

As informações históricas e os dados de exploração, assim como as técnicas utilizadas no Canadá, presentes neste trabalho podem influenciar estudantes a pesquisar mais sobre o tema e também sobre outros tipos de reservatórios não convencionais, para no futuro já possuírem conhecimento dentro do mercado de trabalho. Com o crescente descobrimento de reservatórios de diferentes configurações, é essencial o futuro profissional saber como agir frente ao desafio da exploração do óleo em regiões de difícil produção.

2 | METODOLOGIA

Para a construção do artigo, foram utilizados livros (para a busca de definição de Grau API, classificação dos reservatórios), pesquisas online através de sites canadenses de empresas que exploram as areias betuminosas do Canadá, softwares e mapas para a captura de imagens da região onde ocorre a exploração, além de vídeos para o melhor entendimento do processo de exploração e produção do petróleo no Canadá. Ver Figura 3 e Figura 4.



Figura 3: Amostra de areia betuminosa.

Fonte: Canadian Heavy Oil Association.



Figura 4: Área de exploração das areias betuminosas.

Fonte: Rafael Ferreira, 2015.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O grande marco histórico da civilização moderna para o petróleo iniciou-se no século XIX, em 1859, quando nos Estados Unidos foi perfurado o primeiro poço com aproximadamente 20 m de profundidade, produzindo 2 m³ por dia de óleo. Devido à necessidade de produzir cada vez mais em função da demanda, que surgiu naturalmente com a revolução industrial, o rápido desenvolvimento e aprimoramentos de novas técnicas de produção, as perfurações e investimentos se multiplicaram e o petróleo conseguiu a supremacia no cenário energético mundial (WALISIEWICZ, 2008).

De acordo com as pesquisas feitas, foi verificado que o Canadá é o país com a terceira maior reserva de petróleo provada do mundo na atualidade. Essas reservas provadas são da ordem de 166 bilhões de barris de petróleo. A área no qual estão os depósitos de areia betuminosa é de aproximadamente 140.800 km². Na pesquisa, foi encontrado como funciona o processo de extração das areias betuminosas do Canadá. Ele ocorre seguindo sete etapas:

- **1ª ETAPA:** As areias betuminosas são extraídas e carregadas para grandes caminhões.
- **2ª ETAPA:** Os caminhões levam as areias betuminosas para trituradores, os quais diminuem o tamanho das partículas antes de transferi-las para caixas de compensação.
- **3ª ETAPA:** Rejeitos das telas rotatórias estão muito grandes, por isso são separados para serem reprocessados.
- **4ª ETAPA:** Água quente é adicionada as areias trituradas para transformá-las em areias secas e para transportá-las via hidrotransporte.
- **5ª ETAPA:** A mistura de betume, água e areia é levada para a célula de separação, onde o material é devidamente separado. O material residual é bombeado para a lagoa de rejeitos.
- **6ª ETAPA:** A espuma de betume é tratada e preparada para o transporte pelos oleodutos.
- **7ª ETAPA:** O produto final é levado para aprimoramento.

Todo o processo pode ser ilustrado. Ver Figura 5.



Figura 5: Processo de produção ilustrado.

Fonte: SckyscraperPage.

Foram vistos também os problemas gerados pela exploração das areias betuminosas, pois elas são umas das mais controversas operações da indústria do petróleo do mundo, pois praticamente todas as fases do processo geram danos ambientais, sendo alguns deles:

- Grande movimentação de terra;
- Alto gasto de água;
- Alto gasto de energia;
- Alocação de resíduos gerados.

Modificações no ambiente é outro problema, pois o Canadá possui a maior floresta preservada do mundo, cobrindo cerca de 60% da área do país. A província de Alberta faz parte dessa cobertura. Para exemplificar, observe a Figura 5 e a Figura 6.



Figura 6: Vista de satélite do campo de Athabasca em 1984.

Fonte: Earth Observatory – Nasa.



Figura 7: Vista de satélite do campo de Athabasca em 2011.

Fonte: Earth Observatory – Nasa.

Com relação ao gasto de água, na produção de um barril de petróleo é necessário usar pelo menos quatro barris de água. As companhias estão autorizadas a utilizar 590.000.000 m³ de água por ano. Toda a água utilizada na exploração é retirada do Rio Athabasca, que é um rio sazonal. Essa retirada de água, principalmente no período com pouco volume de chuvas, afeta os animais, causando a mortalidade dos mesmos.

Além da retirada da água, existem ainda as lagoas de rejeitos, que é o local onde os rejeitos da separação do óleo da areia são despejados (mistura de água, óleo e areia, que contem metais pesados como o Arsênio, Chumbo e Mercúrio). A água das lagoas de rejeitos contém altíssimas quantidades de óleo. O gasto de energia na exploração é imenso. Utiliza-se energia para:

- Aquecer a água;
- Tratar o petróleo com baixo grau API (petróleo mais pesado).

O gás liberado durante o processo é tanto que equivale ao que 1,3 milhões de carros liberam diariamente. É equivalente também a quantidade de gás necessária para aquecer 3 milhões de casas por dia.

Por conta de todos os processos necessários para explorar o petróleo das areias betuminosas, vários protestos contra a utilização desse óleo são realizados no Canadá. Ver Figura 8.



Figura 8: Bandeira canadense modificada para protesto.

Fonte: Revista Planeta.

4 | CONCLUSÕES

O artigo em questão teve como finalidade mostrar um tipo de exploração e produção de petróleo único, para fazer com que estudantes e profissionais da área tomem conhecimento a cerca das etapas do processo e o que causa durante o seu funcionamento, tanto economicamente quanto ambientalmente. A exploração das areias betuminosas canadenses é um processo altamente poluente, de grande impacto ambiental. Para viabilizar a sua exploração, é preciso rever o processo de forma que ocorra um menor impacto no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ALBERTA ENERGY. **What is Oil Sands**. Disponível em: <<http://www.energy.alberta.ca/index.asp>>. Acesso em 17 de Abril de 2017.

ALBERTA ENERGY. **Alberta's Leased Oil Sands Area**. Disponível em: <<http://www.energy.alberta.ca/index.asp>>. Acesso em 17 de Abril de 2017.

ALBERTA ENERGY REGULATOR - ERCB. **Alberta's Energy Reserves 2007 and Supply/Demand Outlook 2008-2017**. Calgary: Energy Resources Conservation Board, 2008.

EDUARDO ARAIA. **Areia betuminosa - A chaga negra do Canadá**. Revista Planeta. Edição 452. 01 de Maio de 2010.

Portal PetroGasNews. **E então amigos, vamos falar um pouco sobre geologia?**. Disponível em: <<https://petrogasnews.wordpress.com/2011/03/14/geologia-do-petroleo/>>. Acesso em 10 de Junho de 2018.

Portal Universo Fóssil. **Curiosidades sobre o Petróleo: Grau API e Campo x Reserva**. Disponível em: <<http://universofossil.blogspot.com/2011/10/curiosidades.html>>. Acesso em 10 de Junho de 2018.

ROSA, A. J. et al. **Engenharia de Reservatórios de Petróleo**, Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

THOMAS, J. E., **Fundamentos da Engenharia de Petróleo**, Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

WALISIEWICZ, Marek. **Energia alternativa**. São Paulo: Publifolha, 2008.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Cleverson Flôr da Rosa - Professor adjunto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Doutorado em Administração pela Universidade Federal do Paraná UFPR - Curitiba (2017). Mestrado em Administração pela Universidade Federal do Paraná UFPR - Curitiba (2009). Pós-Graduação (Lato Sensu) em Marketing, Gestão de Pessoas e Estratégia Empresarial pela Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP (2005). Graduação em Administração pela Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP (2000) e Graduação em Tecnologia de Desenvolvimento de Sistema de Informação pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR (2008). Trabalha com os temas: Empreendedorismo, Gestão da Inovação, Competitividade e Desenvolvimento Regional.

Franciele Bonatto - Professora assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Campus Guarapuava. Graduação e Mestrado em Engenharia de Produção pela UTFPR. Doutorado em andamento em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: Supply Chain, gestão da qualidade e gestão da produção.

João Dallamuta - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, gestão Engenharia da Qualidade, Planejamento Estratégico, Estratégia de Marketi

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-193-0

