ENGENHARIA: CRIAÇÃO, CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO

VOLUME II

EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE

Frederico Celestino Barbosa

Engenharia: criação, construção e manutenção

2ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

2ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238E Engenharia: criação, construção e manutenção

/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2021

104 f.: il

DOI: 10.37423/2021.edcl269

ISBN: 978-65-89955-21-4

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. projetos 2. implantação 3. desenvolvimento 4. sistemas I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 620

<https://doi.org/10.37423/2021.edcl269>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

Dr. João Luís Ribeiro Ulhôa

Dra. Eyde Cristianne Saraiva-Bonatto

Dr. Anderson Reis de Sousa

MSc. Frederico Celestino Barbosa

MSc. Carlos Eduardo de Oliveira Gontijo

MSc. Plínio Ferreira Pires

Editora Conhecimento Livre

Piracanjuba-GO

2021

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	6
INFLUÊNCIA DE WAVELETS-MÃES E DA ORDEM DELAS NO DESEMPENHO DE UM LOCALIZADOR DE FALTAS	
Maryson da Silva Araújo	
José Augusto Lima Barreiros	
Orlando Fonseca Silva	
DOI 10.37423/210604248	
CAPÍTULO 2	20
PROCESSAMENTO DE NEUROSINAIS DO HARDWARE MINDWAVE - ANÁLISE DE RUÍDOS E FILTROS PARA OBTENÇÃO DO ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS.	
Welber L A Miranda	
Jonathan V. França	
DOI 10.37423/210604267	
CAPÍTULO 3	32
APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS EM MANUSEIO DE MINÉRIOS: A CONTRIBUIÇÃO DA UFPA	
André Luiz Amarante Mesquita	
Alexandre Luiz Amarante Mesquita	
DOI 10.37423/210604298	
CAPÍTULO 4	54
DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE EM MATLAB PARA APRENDIZADO E COMPARAÇÃO DE MÉTODOS NUMÉRICOS	
Giovane Malcher da Silva	
Duaymy Bruno Rodrigues Góes	
Danielle Lima Guedes	
Wesley Barbosa Tavares	
Orlando Fonseca Silva	
DOI 10.37423/210604301	
CAPÍTULO 5	67
CORPOS-DE-PROVA EM ESCALA REDUZIDA DE ASFALTO COMPOSTO DE MADEIRA	
Johnny Gilberto Moraes Coelho	
João Guilherme Mota de Sousa	
Carmen Gilda Barroso Tavares Dias	
DOI 10.37423/210604306	

CAPÍTULO 6	77
INFLUÊNCIA DO PROGRAMA DE NIVELAMENTO EM ENGENHARIA NO DESEMPENHO EM QUÍMICA BÁSICA NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ	
Lucas de Souza Silva	
Frank Sales Nunes Brito	
Nian Iury Ferrão Queiroz	
Raylime Louise Tavares Costa	
Elvis Jones Araújo de Almeida	
DOI 10.37423/210604362	
 CAPÍTULO 7	 85
A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO NOS ESTUDOS PARA O ALUNO DE ENGENHARIA - OFAPE (OFICINA DE APOIO AOS ESTUDOS)	
Miguel Angel Chincaro Bernuy	
Rosângela Borges Pimenta	
Luciana Carneiro Hernandes	
Lucas Rosalin Chaves de Sousa	
Jhonatan Felipe Pereira	
Pedro Paulo Nogueira Odorizzi	
DOI 10.37423/210604365	
 CAPÍTULO 8	 99
O PLANO DE EMERGÊNCIA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO DO CENTRO DE TECNOLOGIA	
Paul Richard Marques Acurcio	
Luã Francisco Rangel Carneiro	
Wesley Lopes de Oliveira Martins	
Vitor Menezes Moura	
Roberto Machado Corrêa	
DOI 10.37423/210704434	

Capítulo 1

10.37423/210604248

INFLUÊNCIA DE WAVELETS-MÃES E DA ORDEM DELAS NO DESEMPENHO DE UM LOCALIZADOR DE FALTAS

Maryson da Silva Araújo

Centro de Instrução Almirante Braz de Aguiar

José Augusto Lima Barreiros

Universidade Federal do Pará

Orlando Fonseca Silva

Universidade Federal do Pará

Resumo: Este trabalho apresenta a utilização de diferentes famílias wavelets e ordens delas em um algoritmo de localização de faltas por ondas viajantes para verificação da influência dessas wavelets no desempenho do mesmo. São utilizadas como ferramentas para obtenção dos resultados: o ATP/EMTP, para modelagem da topologia de parte de um sistema de potência da Eletrobrás-Eletronorte e obtenção dos sinais de faltas a serem processados, cujas dinâmicas são fortemente não-lineares; e a transformada modal de Clarke, a teoria das ondas viajantes (OVs) e a transformada wavelet discreta, via análise multiresolução, como as ferramentas matemáticas e teóricas para o processamento dos sinais e estimação do local do defeito. Embasando-se nos erros médios, absolutos, relativos e máximos e mínimos, além de informações de outros trabalhos envolvendo a temática, conseguiram-se resultados satisfatórios na localização de faltas para uma diversidade de contingências, e determinaram-se as wavelets-mães e ordens com maiores exatidões ao algoritmo do localizador e, por conseguinte à análise de sinais faltosos. Obteve-se daí também, toda uma metodologia para estudo de fenômenos transitórios em sistemas de potência e o desenvolvimento de uma ferramenta de software no ambiente MATLAB para auxiliar na instrução dos alunos de Engenharia Elétrica em disciplinas como, por exemplo, transmissão de energia e análise e proteção de sistemas de potência.

Palavras-chave: Localização de faltas, Wavelets, ATP, Ondas viajantes, Ferramenta de instrução.

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade é notória a necessidade de um localizador de faltas com grande acurácia, justo que cada vez mais os sistemas elétricos devem ficar o menor tempo possível fora de operação, posto que as multas aplicadas às concessionárias são muito dispendiosas devidas às legislações vigentes. Além disso, localizadores de faltas auxiliam na manutenção, reduzindo o tempo para se chegar ao local da contingência (até 60% do tempo de restabelecimento do sistema está na localização do ponto da falta); eles podem detectar pontos com perda de isolamento em determinados locais da linha de transmissão (LT); podem determinar pontos de maior suscetibilidade a descargas atmosféricas, possibilitando execução de uma proteção mais eficaz a essas áreas; dentre outras benevolências para o sistema elétrico.

Embora já sejam comercializados localizadores empregando ondas viajantes – sinais não-estacionários propagados a altas frequências – e processamento wavelet, os pesquisadores ainda não conseguem especificar qual seria a wavelet-mãe mais apropriada à detecção dos fenômenos transitórios. Algumas características presentes nos sinais elétricos são citadas e norteiam para certas wavelets-mães (TORRENCE & COMPO, 1998; DOMINGUES *et al.*, 2003; ELHAFFAR, 2008), dadas as características delas como: grau de suavidade (associado ao número de momentos e proporcional ao número de coeficientes dos filtros); orto, bi ou não-ortogonalidade; simetria ou assimetria; função real ou complexa; com ou sem suporte compacto; e etc. Mas nada que possibilite deter-se a uma família e a uma ordem específica para processamento de um determinado tipo de sinal. Dessa forma, este trabalho fará uso de famílias wavelets discretas de diferentes ordens para determinar qual (ou quais) são as mais apropriadas à determinação dos locais das faltas aplicadas a um sistema de potência simulado.

2. METODOLOGIA DE LOCALIZAÇÃO

Essa metodologia contempla desde a modelagem de um sistema elétrico para obtenção dos sinais a serem desacoplados e analisados, no intuito de determinar parâmetros temporais, até a estimação dos locais de falta pelo uso desses parâmetros no equacionamento oriundo da teoria das ondas viajantes. Tal metodologia é apresentada nas subseções a seguir.

2.1 SISTEMA ELÉTRICO MODELADO

Para se obter os sinais faltosos para o localizador, um sistema elétrico já utilizado em outros trabalhos na UFPA (SOUZA, 2007; BATISTA & ARAUJO, 2008) teve sua topologia modelada e simulada no ATP/EMTP. O *Alternative Transient Program* (ATP) é uma ferramenta de simulação digital específica para fenômenos transientes eletromagnéticos em uma ampla faixa de frequências, permitindo a simulação de redes polifásicas com configuração arbitrária.

Foi modelado no ATPDraw (Interface amigável do ATP), o sistema ELETROBRÁS-ELETRONORTE, abrangendo os estados do Pará e Maranhão. Ele possui dentre os principais componentes: geradores tipo SM59_NC (23 de 350 MVA e 10 de 390 MVA); linhas de transmissão trifásicas transpostas, a parâmetros distribuídos e independentes da frequência, do tipo LINEZT_3; transformadores tipo SATTRAFO, trifásicos e com curva de saturação; cargas estáticas trifásicas tipo RLC3 com parametrização independente para cada fase; reatores shunt trifásicos tipo RLC3Y; bancos de capacitores e compensadores série trifásicos tipo RLC3; compensadores síncronos tipo SM59_NC; e chaves de tempo controlado tipo SWIT_3XT, com as quais são impostas as diversas contingências. Os TCs e TP não foram modelados e os *probes* trifásicos de tensão do simulador foram usados para “aquisitar” os sinais a serem processados no MATLAB[®]. Parte desse sistema é mostrada na “Figura 1”.

Figura 1 – Sistema modelado no ATPDraw

Do sistema assim modelado e aplicados os diversos tipos de contingências – diversos tipos de faltas, diversas distâncias da falta (relativas a Tucuruí), diversas resistências de falta e diversos ângulos de incidência, além das duas frequências de amostragem dos sinais –, conforme apresenta a “Tabela 1”, obtiveram-se os sinais de tensão trifásicos de características distintas nos terminais local (barra de Tucuruí) e remoto (barra de Vila do Conde) da linha de transmissão de 328,7 km e a 500 kV.

Tabela 1 – Características dos arquivos de falta simulados

Tipo de falta	Distância (km)	Resistência de falta (Ω)	Ângulo de incidência (grau)	Amostragem (MHz)	Total de arquivos
Monofásica (AT, BT, CT)	3, 10, 25, 55, 100, 150, 164, 200, 180, 315, 325	0, 1, 5, 15, 30, 50, 100	0, 45 e 90	1/4, 1	1386
Bifásica (ABT, ACT, BCT)	3, 10, 25, 55, 100, 150, 164, 200, 180, 315, 325	0, 1, 5, 15, 30, 50, 100	0, 45 e 90	1/4, 1	1386
Trifásica (ABC)	3, 10, 25, 55, 100, 150, 164, 200, 180, 315, 325	0, 1, 5, 15, 30, 50, 100	0, 45 e 90	1/4, 1	1386

2.2 ALGORITMO DE LOCALIZAÇÃO DAS FALTAS

Da metodologia utilizada para detecção e localização de faltas: O algoritmo foi programado no MATLAB, fazendo a leitura das tensões trifásicas das barras de Tucuruí e de Vila do Conde obtidas (“amostradas”) a ¼ ou 1 MHz, a partir do simulador ATP; a seguir é realizada a transformação modal de Clarke (transformada α - β) dessas tensões para tornarem-se desacopladas e o sistema poder ser tratado como três sistemas monofásicos distintos, impedindo assim que contingências em uma das fases da linha de transmissão possam interferir nas informações das demais, dado o acoplamento entre fases existente no sistema trifásico (ROBBA, 1973); depois disso a velocidade de propagação do modo alfa da OV é calculada a partir dos parâmetros (capacitância e indutância) de sequência positiva da LT, conforme a “Equação (1)” emergente das equações da onda para LTs aéreas;

$$v_1 = 1/\sqrt{L_1 C_1} \quad (1)$$

Após isso os modos aéreos alfas são transformados para o domínio wavelet discreto, a fim de serem analisados nos domínios tempo-frequência para obtenção dos instantes de reflexão, isto é, momento de chegada das ondas viajantes aos terminais da linha de transmissão; finalmente utiliza-se a diferença entre esses instantes de reflexão t_d para determinar, a partir da “Equação (2)”, oriunda do diagrama de Bewley Lattice (LATTICE, 1963) da teoria das ondas viajantes, a distância d do terminal local ao ponto da falta em uma LT de comprimento l .

$$d = (l - v_1 t_d)/2 \quad (2)$$

Resumidamente, o método de localização está descrito no diagrama de blocos, “Figura 2”, correspondendo a área laranja à aquisição e sincronização dos sinais, e a área azul ao processamento matemático dos mesmos.

Figura 2 – Diagrama de blocos do localizador

O sistema com GPS na “Figura 2” torna síncrona a base de tempo de aquisição para ambas as OV, evitando erros de localização devidos a esse tipo de discrepância, visto que o GPS tem erro inferior a $1\mu s$ (SAHA et al., 2010), que neste caso acarretaria em um erro de aproximadamente 292m, devido a velocidade de propagação modal para o sistema modelado.

2.3 AQUISIÇÃO DOS SINAIS DE TENSÃO

Na “Figura 2” há uma amostragem e uma sincronização das tensões. Como essas informações são obtidas de uma simulação, os probes do ATPDraw fazem essa “aquisição” de sinais; e não há necessidade de GPS, posto que o momento do registro de todas as seis variáveis é simultâneo, aquisição síncrona. Do exposto, essas etapas não têm relevância aqui, porém são extremamente importantes e complexas em pesquisas e implementações em campo.

2.4 A TRANSFORMADA MODAL DE CLARKE

Só difundida por Clarke em 1938, ela é definida a partir do teorema fundamental das componentes simétricas com o operador $\alpha = 1e^{(j120^\circ)}$ e fatorando-se as partes real e imaginária (ROBBA, 1973). Disso se averiguam então as componentes modais zero, alfa e beta, dados pela relação matricial de transformação da “Equação (3)”, sendo esta equivalente para se obter as correntes modais – caso o sistema seja balanceado (SAHA et al., 2010).

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_0 \\ \bar{V}_\alpha \\ \bar{V}_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_A \\ \bar{V}_B \\ \bar{V}_C \end{bmatrix} \quad (3)$$

A importância dessas componentes aqui reside no exposto na subseção 2.2.

Opta-se por utilizar o modo alfa ($\bar{V}_\alpha$), pois qualquer que seja o tipo de falta afetá-lo-á de alguma forma. Já o modo zero (terra) apresenta-se somente quando de faltas à terra.

2.5 WAVELETS E A TRANSFORMADA WAVELET

A transformada wavelet é amplamente difundida em trabalhos sobre análise de transitórios em sistemas de potência – (MACHADO, 2003; SOUZA, 2007; ELHAFFAR, 2008; BATISTA & ARAUJO, 2008; SAHA *et al.*, 2010) – e em diversas áreas e subáreas da ciência nas quais a sua propriedade de resolução tanto no tempo quanto na frequência se faz necessária, como em (SOARES *et al.*, 2007; ARAUJO, 2009), dadas as suas operações de escalamento e translação. Por definição, sua forma contínua realiza uma transformação de um domínio unidimensional para um bidimensional, cujos valores dos coeficientes obtidos são uma correlação das diversas partes do sinal com uma wavelet-mãe transladada e escalada, chamadas wavelets-filhas. Assim, o sinal é descrito por uma família de funções base, caso análogo ao da Transformada de Fourier (TF), porém sem as funções periódicas seno e cosseno, mas com wavelets, oscilantes e de rápido decaimento, como as Daubechies, as Coiflets, a Dmey, as Symlets e etc., definidas genericamente pela “Equação (4)”.

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right); a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0 \quad (4)$$

A necessidade de analisar sinais não-estacionários, caso dos transitórios eletromagnéticos e ondas sísmicas, demanda ferramentas de análise em multiresolução (AMR) – análise de altas frequências em pequenas escalas (grande resolução) e de baixas frequências em grandes escalas (pequena resolução) –, algo não obtido da TF, causa explicada pelo princípio da incerteza de Heisenberg, e nem de sua forma modificada, a Transformada de Gabor ou Janelada de Fourier, devido as janelas desta serem de tamanho fixo, mas conseguida por Morlet através da Transformada Wavelet (TW).

A sua forma discreta – transformação de números em outro conjunto de números – é denotada pela “Equação (5)”.

$$TWD_x(j, k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^j}} \sum_n x(n) \psi\left(\frac{n - kb_0 a_0^j}{a_0^j}\right) \quad (5)$$

Onde: a_0^j e $kb_0 a_0^j$ são os coeficientes de passo discreto de escala e de translação com $j, k \in \mathbb{Z}$ (ARAUJO, 2009). Usualmente $a_0 = 2$, tornando as sub-bandas de frequências diádicas, isto é, com metade da máxima frequência da sub-banda anterior a cada aumento de escala. Já $b_0 = 1$, dando uniformidade à divisão de tempo na escala selecionada (RADUNOVIC, 2009).

A AMR é obtida da TWD via algoritmo de otimização de processamento, no qual o sinal é passado por filtros wavelets de decomposição ou reconstrução, podendo ser visto em várias escalas (sub-bandas) de frequência, obedecendo a $f_h = (2^{m_{max}-m}) \frac{f_s}{N}$ (MACHADO, 2003). A “Figura 3” apresenta a AMR em 1ª escala, sub-banda f_1 , detectando as reflexões das OV's.

Figura 3 – Instantes de reflexão das OV's obtidos via AMR (escala 1 de detalhe)

2.6 AS ONDAS VIAJANTES

Distúrbios que causem alterações na condição de regime permanente de um sistema de energia elétrica geram ondas viajantes trafegando com velocidades de propagação modais finitas (SOUZA, 2007). Portanto, no ponto onde incide uma falta numa LT, surgem impulsos eletromagnéticos a altas frequências que se propagam para ambos os extremos desta, refletindo e refratando neles e nas discontinuidades da linha até as ondas viajantes de tensão ou corrente serem completamente atenuadas pelas perdas da linha ou extinção da contingência. O Diagrama de Bewley Lattice, “Figura 4”, explana simplificada os modos de reflexão e refração dessas ondas e possibilita a dedução de equações, tal qual a “Equação (2)”, para localizadores de falta baseados em OV's. Se as ondas de

ambos os terminais puderem ser obtidas precisamente, o ponto da falta pode ser determinado através de uma proporção da diferença entre os momentos de chegada ($t_b - t_a$) dos picos delas aos terminais da LT.

Figura 4 – Diagrama de Bewley Lattice

3. RESULTADOS

Tendo sido processados os arquivos de falta da “Tabela 1” no MATLAB, o local do defeito foi calculado e os erros obtidos foram armazenados em arquivos de texto (.txt) para posterior análise estatística via Microsoft Excel. Neste, o localizador foi avaliado consoante a “Equação (6)” e a “Equação (7)” e máximos e mínimos desta última.

$$ER_d = \frac{|d - d_{calc}| \cdot 100}{l} \quad (6)$$

$$DPR = \sqrt{\sum_{n=1}^N \frac{(ER_{d_n} - \mu)^2}{N - 1}} \quad (7)$$

Na “Equação (6)” ER_d é o erro relativo ao comprimento da LT (l), e d e d_{calc} são as distâncias real e calculada. Já na “Equação (7)” DPR é o desvio padrão relativo, N é o número de faltas de um dado tipo para o cálculo da média μ dos respectivos ER_d .

3.1 FAMÍLIA BIORTOGONAL: DA BIOR1.1 A BIOR6.8

Família inadequada à aplicabilidade, visto que, na maioria das vezes, os erros absolutos das biortogonais são muito maiores que o comprimento total da LT (por exemplo, Bior2.2, 2.6 e 4.4), enquanto que o erro absoluto máximo admissível estipulado para a aplicação foi de 250 m (metade da distância entre duas torres da LT). Desempenho esse similar aos das Rbio1.1-6.8, com erros de até 50 vezes o comprimento da LT.

3.2 FAMÍLIA COIFLETS: DA COIF1 A COIF5

As Coiflets de ordens 3, 4 e 5 tiveram desempenho equivalente para todos os tipos de falta, com desvio padrão relativo máximo de 0,06% e erros absolutos mínimos e máximos de 1,6 e 203 m, respectivamente, em média 66 m. Desempenho análogo teve a Dmey, que só tem uma ordem. Tais desempenhos podem ser observados por meio da “Figura 5”.

Figura 5 – Desempenho FFF da família Coiflets

3.3 FAMÍLIA DAUBECHIES: DA DB1 A DB20

Algumas ordens são de desempenho tão ruim quanto as Bior e Rbio (Db1, 2 e 3) e outras satisfatórias (Db6, 7, 11, 12, 14, 15 e 19), mas com erros relativos máximos quase 5 vezes maiores que os da Db15; a de melhor desempenho de todas as wavelets analisadas, tendo erro relativo máximo médio de 0,0089%, ou 29,4 m. O desvio padrão relativo foi de 17,5 m. Assim, o erro absoluto máximo foi de 57,6 m, com desempenhos análogos para todos os tipos de falta, assim como apresenta a “Figura 6”.

Figura 6 – Desempenho FFT das wavelets Db11-15

3.4 FAMÍLIA SYMLETS: DA SYM1 A SYM20

Dentre as Symlets de performance aceitável, a Sym17 sobressai-se com erro absoluto máximo de 184 m, mas essa elevada ordem demanda maior tempo de processamento dos sinais (34 coeficientes de filtros), tendo sido observado este acréscimo temporal quase exponencial a partir da ordem 15 dessa família.

3.5 CONCEPÇÃO DO SOFTWARE

Para análise dos sinais faltosos e verificação do desempenho do localizador frente às wavelets, foi desenvolvida uma interface GUIDE (*Graphical User Interface Development Environment*) usando o MATLAB, “Figura 7”. Ela auxiliará na explanação a respeito dessa metodologia de análise, além de ser uma IHM para o localizador, propiciando ao usuário do *software* que desconhece a linguagem do MATLAB fazer análise dos resultados através de formas de onda das tensões trifásicas e de suas componentes modais, além de poder realizar a análise wavelet multiresolução (AMR) destas últimas, tendo a justificativa do porquê a ferramenta Transformada Wavelet é tão utilizada para análise de sinais não-estacionários.

Figura 7 – Interface do localizador em MATLAB

A partir do botão “Signal Analysis” na “Figura 7”, o *software* concebe, conforme solicitado pelo usuário, a análise dos sinais de falta evocados na interface do localizador, consoante a “Figura 8” e a “Figura 9”.

Figura 8 – Tensões modais (à esquerda) e escala 1 de detalhe wavelet dos modos alfa

Figura 9 – Coeficientes wavelets de aproximação da escala 5 dos modos alfa

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse artigo abordou a utilização de diversas ordens de diversas famílias wavelets em um localizador de falhas a fim de identificar qual dessas wavelets confere-lhe maior exatidão. Das 76 que foram analisadas, conseguiram-se resultados aceitáveis para muitas delas, com erros absolutos inferiores a 203 m. Porém as de melhor desempenho foram a DB15 e a Sym17, com erros absolutos máximos de 57,6 m e 184 m, respectivamente, quando da amostragem dos sinais a 1 MHz. Comparativamente, contrastando com as wavelets usadas em (BATISTA & ARAUJO, 2008), o uso da DB15 traz precisão 3,5 vezes maior ao localizador.

Deve-se salientar que para erro não-admissível em um único caso de falta, isso resulta na ineficácia do localizador, fato este acontecido, por exemplo, com a Bior6.8, família essa mais adequada às análises de (ELHAFFAR, 2008).

Há wavelets de processamento mais ou menos lento, porém com mesmo desempenho, caso da Db6, quatro vezes mais veloz que a Sym18. Com a DB15 a localização deu-se em 66 centésimos de segundo, sendo os arquivos de falta de 8 megabytes.

Wavelets muito usadas na análise de sinais transitórios como a Db4 (MACHADO, 2003), Db8 (SOUZA, 2007) e Haar (BATISTA & ARAUJO, 2008), não apresentaram localização adequada. (ELHAFFAR, 2008) mostra erros máximos da ordem de 10^{-15} pela utilização de uma ou outra wavelet na reconstituição dos sinais faltosos de suas análises de transitórios, o que não acontece para esse localizador, salientando-se que o método aqui proposto não foi aplicado a sinais ruidosos e que ele realiza localização do tipo *off-line*.

Futuramente propõe-se a aplicabilidade desse localizador com a Db15 em subestações que ainda não dispõem desses dispositivos, mas têm os sinais amostrados via RDP ao menos a 0,5 MHz, para verificar a performance do localizador proposto com sinais reais e aplicar possíveis aprimoramentos no mesmo. Além disso, será sugerida aos professores de disciplinas de sistemas de potência da Universidade Federal do Pará a utilização das funcionalidades dessa ferramenta a fim de sanar possíveis abstrações deixadas pelas metodologias de ensino utilizadas atualmente para explicar os temas abordados no presente trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ, pelo apoio financeiro de parte dessa jornada, ao Programa de Educação Tutorial de Engenharia Elétrica da UFPA, e ao amigo Diego Rosal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, G. J. M. de. Transformada wavelet aplicada à detecção de vazamentos em oleodutos. Trabalho de Conclusão de Curso. Natal: UFRN, 2009.
- ARAUJO, M. S. Influência de famílias wavelets e suas ordens no desempenho de um localizador de falhas em linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. Dissertação de Mestrado. Belém: UFPA, 2011.
- BATISTA, D. A. R.; ARAUJO, M. da S. Avaliação do desempenho de um localizador de falhas baseado em transformada wavelet considerando a variação do tipo e frequência de amostragem. Trabalho de Conclusão de Curso. Belém: UFPA, 2008.
- DOMINGUES, M. O.; MENDES, O. J.; COSTA, A. M. Algumas aplicações wavelet na análise de sinais atmosféricos. Vol. 2. São José dos Campos-SP: DINCON, 2003.
- ELHAFFAR, A. M. Power transmission line fault location based on current traveling waves. Doctoral Dissertation. Finland: Helsinki University of Technology, 2008.
- LATTICE, V. B. Travelling waves on transmission systems. 2nd ed. Mineola, NewYork: Dover Publications, 1963. Chapters1–4.
- MACHADO, R. N. das M. Detecção, classificação e quantificação automática de variações de tensão de curta duração para aplicação em análise de pós-operação em sistemas de energia elétrica. Tese de Doutorado. Belém: UFPA, 2003.
- RADUNOVIC, D. P. Wavelets from math to practice. Belgrade: Academic mind (Springer), 2009.
- ROBBA, J. E. Introdução a sistemas elétricos de potência: componentes simétricas. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.
- SAHA, M. M.; IZYKOWSKI, J.; ROSOLOWSKI, E. Fault location on power networks. Springer, London: 2010.
- SOARES, F.; PAZOS, R. E. P.; FROZZA, R. Aplicação da análise de multiresolução wavelet e de redes neurais artificiais no mercado de ações. Belém-PA: CNMAC, 2007.
- SOUZA, T. B. P. de. Análise de ondas viajantes em linhas de transmissão para localização de falhas: abordagem via transformada wavelet. Dissertação de Mestrado. Belém: UFPA, 2007.
- TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A practical guide to wavelet analysis. Bulletin of the American Meteorological Society. Vol. 79, No. 1, January 1998.

Capítulo 2

10.37423/210604267

PROCESSAMENTO DE NEUROSINAIS DO HARDWARE MINDWAVE - ANÁLISE DE RUÍDOS E FILTROS PARA OBTENÇÃO DO ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS.

Welber L A Miranda

*Instituto Federal de Educação e Ciência e
Tecnologia da Bahia*

Jonathan V. França

*Instituto Federal de Educação e Ciência e
Tecnologia da Bahia*

Resumo: Exploramos neste trabalho o processamento de sinais neurológicos de um hardware de eletroencefalograma de superfície (EEG) denominado Mindwave (Neurosky). É desenvolvido um código próprio, através do MATLAB, para o tratamento computacional de sinais elétricos. São realizadas análises das fontes de ruídos e tratamos o sinal com técnicas de filtragem. O estudo tem como finalidade estudar interferências nas medições do Mindwave e desenvolver ferramentas de processamento de sinais, em especial, para a eliminação de interferências eletromagnéticas. Os sinais bioelétricos utilizados são gerados a partir de um aparelho de EEG de um canal. O hardware Mindwave fornece o sinal das ondas cerebrais utilizando um eletrodo na parte ântero-superior da cabeça e outro no lóbulo auricular, este servindo como potencial de referência. A amplitude do sinal elétrico é fornecida de forma crua na forma de dados elétricos que são obtidos e subsequentemente decompostos no espaço de Fourier para obtenção de seu espectro de frequência. Feita a análise do sinal no domínio da frequência, são demonstradas as aplicações de diferentes filtros digitais, de forma a eliminar ruídos e aprimorar a qualidade de uma interpretação posterior do sinal. O espectro final decomposto em faixas de onda é mostrado.

Palavras-chave: Processamento de sinais. EEG. Mindwave, filtros digitais. Matlab.

1. INTRODUÇÃO

Há uma constante necessidade na medicina em obter medições diretas de características físicas e cognitivas. A medição da atividade elétrica é uma forma de avaliar objetivamente algumas destas propriedades. Os biosinais elétricos se referem as atividades elétricas produzidas pelo tecido biológico em diferentes órgãos (KANIUSAS, 2012). Este podem ser de diversas fontes, as mais comumente citadas são o os aparelhos de Eletroencefalograma (EEG), Eletrocardiograma (ECG), Eletromiograma (EMG).

As possibilidades de aplicação dos biosinais são imensas. Com o processamento adequado é possível, por exemplo, desvendar padrões de pensamento e traduzi-los em aplicações médicas (diagnósticos) ou mesmo tecnológicas. Neste trabalho serão explorados o processamento destes sinais e também sua aplicação para o controle de dispositivos eletrônicos ou robóticos. O estudo das aplicações para biosensores é uma área de crescente interesse.

A descoberta de padrões elétricos nas medições neurológicas remonta ao início do século XX, com a invenção de um aparelho capaz de detectar pequenas variações de tensão no escalpo, aparelho chamado de Eletroencefalograma (EEG). A primeira máquina de eletroencefalograma foi projetada por Hans Berger (LA VAQUE, 1999). Desde então, com o avanço da neurociência, da bioengenharia e das técnicas de análise de sinais, as metodologias de uso e também os aparelhos do eletroencefalograma vêm se tornando cada vez mais modernos, precisos e compactos.

A análise de ondas cerebrais tem sido um importante parâmetro para diagnósticos médicos (STANFORD, 2004) assim como para o estudo do cérebro e o avanço da neurociência. A partir de uma abordagem multidisciplinar, diversos avanços estão sendo atingidos nesta área. Grandes esforços estão sendo empreendidos para encontrar soluções de variados problemas tecnológicos.

A leitura simples, proporcionada pelos equipamentos portáteis de EEG, traz a possibilidade de aquisição de dados que podem ser processados para a obtenção de informações neurológicas simples, como o estado de alerta, nível de atenção ou sono, por exemplo. Diante destes dados, diversas aplicações tecnológicas podem ser viabilizadas, como: estudar o envolvimento cognitivo em determinada tarefa, analisar o nível de sono ou alerta ou também aplicar os sinais para o controle de dispositivos eletroeletrônicos.

Os aparelhos EEG para leitura das ondas cerebrais são geralmente caros e pouco acessíveis, existindo quase que exclusivamente em hospitais e clínicas especializadas. Com o crescente campo de análise

das ondas cerebrais, surgiram aplicações para além do uso médico/clínico. Despontaram aparelhos em menor escala e mais baratos, construídos para a pesquisa e também para o lazer. Dentre estes está o Mindwave, aparelho desenvolvido pela Neurosky (NEUROSKY, 2018), empresa sediada no vale do silício, Estados Unidos. A figura 1 mostra o aparelho básico disponibilizado pela empresa.

Figura 1: O hardware Mindwave, aparelho básico de EEG disponibilizado pela empresa Neurosky.

Fonte: Os autores.

O *Mindwave* utiliza, como canal de medição, um único eletrodo na parte ântero-superior da cabeça e outro eletrodo posicionado no lóbulo auricular, este servindo como potencial de referência. O potencial elétrico varia entre cinco e cinquenta milionésimos de volt. Os padrões de variação de tensão no couro cabeludo são conhecidos como ondas cerebrais, e podem ser classificadas em quatro padrões específicos, *delta*, *theta*, *alfa beta* e *gama*. Estas regiões de frequência estão associadas aos valores de 0.5 até 4 Hz (*delta*), 4 até 8 Hz (*theta*), 8 a 13 Hz (*alfa*), 13 a 30 Hz (*beta*) e 30 a 80 Hz (*gama*), (WEBSTER, 1995).

2. METODOLOGIA

A principal ferramenta matemática utilizada no tratamento dos sinais é a transformada de Fourier em tempo discreto. A transformada de Fourier, de um modo geral, permite que sinais aperiódicos no domínio do tempo sejam escritos como uma soma contínua de exponenciais complexas da forma $e^{j\omega t}$,

onde j é a unidade imaginária, ω é a frequência angular e t o tempo. Essa mudança de domínio permite que sinais de difícil interpretação no tempo sejam melhores entendidos e trabalhados no domínio da frequência.

A transformada de Fourier de tempo discreto (numérica) pode ser escrita da seguinte forma:

$$X_K = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-jn\Omega_0 K} \quad (1)$$

Onde X_K é a K -ésima amostra da transformada de Fourier de um sinal $x(t)$ contínuo no tempo e amostrado a uma taxa angular de Ω_0 rads/s. A transformada inversa de X_K , que podemos chamar de x_n é representada da seguinte forma:

$$x_n = \sum_{K=0}^{N-1} X_K e^{jn\Omega_0 K} \quad (2)$$

sendo T o período de amostragem, dado por

$$x_n = Tx(nT). \quad (3)$$

A TDF é implementada no MATLAB pelo algoritmo de Cooley-Tukey, mais conhecido como transformada rápida de Fourier (MATHWORKS, 2018). O algoritmo basicamente reduz a quantidade de operações da transformada discreta da ordem de N^2 para $N \log N$, onde N é o número de amostras do sinal (LATHI, 2014). O algoritmo também é simplificado se for escolhido N como uma potência de base 2, mas tal fato não é uma restrição necessária. A função no MATLAB que realiza a transformada de Fourier de um vetor $\mathbf{x}$ é a **FFT(x)**.

O programa em sua primeira versão apenas mostrava o espectro de frequência do sinal, após estudos de outras funções do MATLAB, como a **conv**, que faz a convolução de dois sinais, e a **fir1**, função que projeta um filtro de resposta finita ao impulso, podendo ser esse passa baixas/altas ou passa/rejeita faixa (MATHWORKS, 2018), o programa foi redefinido para também realizar uma filtragem de componentes de alta frequência e separar o sinal de EEG em suas faixas principais (delta, teta, alpha, beta e gama).

É vastamente conhecida (LATHI, 2014) que a convolução de dois sinais é definida com

$$x(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau) \cdot h(t-\tau) \cdot d\tau \quad (4)$$

onde $x(t)$ e $h(t)$ são duas funções, aqui expressas em função do tempo. é a transformada de Fourier da função A convolução no domínio do tempo é análoga a multiplicação no domínio da frequência.

Logo, convoluir a resposta ao impulso unitário do filtro h com o sinal x é análogo a multiplicar suas transformadas de Fourier (LATHI, 2014). Como a resposta ao impulso de um filtro ideal no domínio da frequência é representado por uma janela de altura 1 e largura igual a banda de frequência que se deseja manter, a multiplicação na frequência pela transformada de Fourier do sinal retira as componentes de frequência fora da banda do filtro.

$$h(t)*x(t) \leftrightarrow H(j\omega).X(j\omega), \quad (5)$$

A figura 2 ilustra a obtenção dos dados no domínio em ambos os domínios do tempo e da frequência. Destacamos a grande amplitude dos sinais eletromiográficos gerados pelo piscar dos olhos do do usuário (WU, 2018). Os sinais eletromiográficos se destacam também por sua característica não periódica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A obtenção do sinal e seu espectro de frequência inicialmente revelaram um ruído intrínseco nas medições. Após notar a presença de tal ruído, foram feitas medições com o sensor em vazio (em não uso). Através de tais medições, foi possível ver a interferência de sinais com frequências múltiplas de 60 Hz, além de outros ruídos de alta frequência.

Figura 2: Sinal de EEG filtrado, é possível identificar o piscar dos olhos do usuário do *headset*.

Fonte: Os autores.

Figura 3: Sinal em vazio com apenas a aplicação de filtro passa baixas de 80Hz de corte. O aparelho está próximo de aparelhos eletroeletrônicos.

Fonte: Os autores.

Ao se afastar o sensor de interferências elétricas externas (eletrodomésticos, fiações e até mesmo o carregador do notebook), as componentes de 60 Hz se atenuaram. O espectro de frequência para o hardware em quase isolamento pode ser visto na figura

As figuras 3 e 4 mostram evidência de que uma das principais fontes de ruído são originadas da rede elétrica (eletrodomésticos e outros equipamentos). De forma geral, da terceira equação de Maxwell, sabe-se que a variação temporal de um campo magnético induz um campo elétrico no espaço (HAYT, 2013). O campo magnético variante é produzido justamente pela corrente circulante nos fios próximos (ou no dispositivo). É interessante notar que a frequência nos eletrodomésticos e rede elétrica é 60 Hz, mas não puramente 60 Hz. Em alguns dispositivos elétricos e eletrônicos há incidência considerável de harmônicos, o que significa que tensões e correntes de frequências múltiplas de 60 Hz também podem ser induzidas no espaço (KAPPEL, 2017).

Figura 4: Espectro de frequências para medição em vazio com apenas a aplicação de filtro passa baixas de 80Hz de corte. (O aparelho está isolado de aparelhos eletroeletrônicos).

Fonte: Os autores.

Figura 5: Filtros passa-baixa (direita) com corte em 80 Hz e rejeita faixa (esquerda) com intervalo de corte entre 59 e 61 Hz.

Fonte: Os autores.

Como as ondas cerebrais variam sua frequência de 0.5 a 80 Hz, frequências acima dessa faixa podem (e devem) ser descartadas. Tais ruídos de alta frequência possuem baixa amplitude, mas por se distribuírem em um vasto espectro, podem alterar o sinal que se deseja obter (ao máximo livre de ruídos).

A obtenção da decomposição do sinal em suas faixas de frequência foi feita através da implementação de filtros passa faixa. Estes filtros foram aplicados em série. Os filtros utilizados são mostrados na figura 7, onde evidencia-se que a associação de cada janela com sua respectiva faixa do espectro. Aplicando os filtros ao sinal de entrada do sensor, vê-se uma redução significativa dos ruídos antes presentes, como mostra a figura 8.

Figura 7: Filtros passa faixa responsáveis por obter as bandas Delta, Teta, Alfa, Beta e Gama.

Fonte: Os autores.

Figura 8: Sinal em vazio cru, com aplicação das janelas passa baixa e passa faixa. (esquerda). Sinal de EEG com aplicação de passa baixa de 80Hz e rejeita faixa com intervalo de corte de 59 a 61 Hz (direita).

Fonte: Os autores.

Figura 9: Decomposição em faixas de frequência Delta, Teta, Alfa, Beta e Gama.

Fonte: Os autores.

4. CONCLUSÕES

O trabalho aqui descrito busca, de forma geral, o desenvolvimento de ferramentas próprias para tratamento de sinais neurológicos. O aperfeiçoamento destas técnicas pode viabilizar o e reconhecimento de padrões cerebrais de forma mais eficiente, possivelmente com desenvolvimento de novos softwares. Com o desenvolvimento destas tecnologias busca-se desenvolver uma linha de

pesquisa multidisciplinar. Estas pesquisas poderão tangenciar aspectos da robótica, do tratamento de sinais e também da construção de diversas interfaces cérebro-máquina.

Foram obtidos os sinais crus do software Mindwave. Foi realizado o processamento destes, com intuito de retirar ruídos conhecidos da rede elétrica. A análise das medições obtidas mostra uma contaminação com ruídos da rede elétrica e fontes eletromagnéticas próximas. Com a utilização de ferramentas do MATLAB foi possível rejeitar frequências, já associadas aos ruídos. Este processamento foi realizado com filtros digitais. Com os filtros de passar baixa, foi possível rejeitar frequências superiores aquelas associadas aos valores das ondas cerebrais. Os filtros de rejeita faixa foram usados para descartar efeitos conhecidos em 60 Hz e 120 Hz. A aplicação de filtros digitais no próprio MATLAB mostrou-se alternativa viável.

Com os filtros de passa-faixa, foram decompostas as faixas usuais de análise das ondas cerebrais. Foi possível obter o espectro de Fourier das ondas cerebrais através da decomposição em faixas *delta*, *theta*, *alfa*, *beta* e *gama*, decomposição mais comum para as ondas cerebrais. Não foi realizada nenhuma interpretação fisiológica ou médica deste sinal.

Este estudo apresentou algumas das características das interferências dos sinais e buscou aprofundar o conhecimento sobre as características elétricas gerais dos biosinais obtidos pelo hardware *Mindwave*. Estes conhecimentos podem ser úteis também para outros aparelhos EEG (similares com um canal de medição). O trabalho serve como base exploratória para novas aplicações desta tecnologia em softwares de análise de sinais e diagnósticos, assim como para o controle de dispositivos robóticos.

REFERÊNCIAS

HAYT, W. H.. Eletromagnetismo. 8ª ed, Porto Alegre: Editora Bookman, 2013, p. 277-296.

KANIUSAS E. Fundamentals of Biosignals, pages 1–26. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2012.

KAPPEL, Simon L. et al . Physiological artifacts in scalp EEG and ear-EEG. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5553928/>. Acesso em 21 de abril de 2018.

LATHI, B. P. Sinais e sistemas lineares.2ª ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2007.

MATHWORKS, Matlab. <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. Acesso em 18 de abril de 2018.

MATHWORKS, Documentation: Fast Fourier Transform. Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/fft.html>. Acesso em 20 de abril de 2018.

MATHWORKS, Documentation: FIR filter design. Disponível em:

<https://www.mathworks.com/help/signal/ug/fir-filter-design.html>. Acesso em 20 de abril de 2018.

NEUROSKY. Website da Neurosky. Disponível em: <http://www.neurosky.com>. Acesso em 20 de março de 2018.

QUNJIAN, Wu et al. An EEG-Based Person Authentication System with Open-Set Capability Combining Eye Blinking Signals. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5855894/>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

RIHANA, S.; DAMIEN, P.; MOUJAESS, T.; Efficient Eye Blink Detection System Using RBF Classifier. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6418422/>. Acesso em: 19 de abril de 2018.

SALABUN, Wojciech. Processing and spectral analysis of the raw EEG signal from the MindWave. Ed. przegląd elektrotechniczny. doi:10.12915/pe.2014.02.44 (2014).

STANFORD, V. Biosignals offer potential for direct interfaces and health monitoring. IEEE Pervasive Computing, vol. 3, no. 1, pp. 99-103, Jan.-March 2004. doi: 10.1109/MPRV.2004.1269140; Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1269140&isnumber=28394>

TEPLAN, M . Fundamentals of EEG measugeremt. MEASUREMENT SCIENCE REVIEW, Volume 2, Section 2, 1988.

WEBSTER, J.G., Electroencephalography: Brain electrical activity, Encyclopedia of medical devices and instrumentation. Vol.2, pp. 1084- 110, 1988.

WEBSTER, J. G., Medical Instrumentation Application and Design., 2nd ed., New York: Wiley, 1995.

Capítulo 3

10.37423/210604298

APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS EM MANUSEIO DE MINÉRIOS: A CONTRIBUIÇÃO DA UFPA

André Luiz Amarante Mesquita

Universidade Federal do Pará

Alexandre Luiz Amarante Mesquita

Universidade Federal do Pará

Resumo: O setor de mineração tem uma grande influência na economia do País e em especial no Estado do Pará, onde há uma grande atividade mineral e grandes projetos de mineração sendo desenvolvidos. Portanto, é de suma importância que inovações tecnológicas no setor sejam sempre objetivadas. Nesse sentido, a Universidade Federal do Pará, por meio do Grupo de Pesquisa em Transporte de Sólidos Granulados, iniciou pesquisas nas áreas de caracterização de escoabilidade de sólidos granulados e análise virtual de escoamento de granulados usando o Método dos Elementos Discretos (Discrete Element Method – DEM). Assim, este trabalho mostra em linhas gerais alguns principais resultados obtidos dessas pesquisas com o DEM. Esses resultados são agrupados em duas classes: (i) validação dos modelos do escoamento de partículas e (ii) análise de escoamento de sólidos granulados em equipamentos de transporte usados na mineração.

Palavras-chave: Método dos elementos discretos, mineração, manuseio de minérios.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o Estado do Pará possui uma posição de destaque no cenário nacional e internacional no que diz respeito à extração e beneficiamento de minérios. O destaque é o minério de ferro, com entrada em operação do Projeto S11D, proporcionando um crescimento de 20% em relação à 2019 (ABM, 2021). De acordo com o Sindicato das Indústrias Mineraias do Estado do Pará (Simineral), as Indústrias de mineração e transformação mineral do estado exportaram US\$ 18,562 bilhões em 2020. Os principais produtos exportados foram ferro, gerando um lucro de US\$ 13,968 bilhões, seguido de cobre (US\$ 1,899 bilhão), ouro (US\$ 295 milhões), manganês (US\$ 260 milhões), níquel (US\$ 166 milhões), bauxita (US\$ 134 milhões), caulim (US\$ 119 milhões) e silício (US\$ 67 milhões).

Nesse sentido é crescente a demanda por tecnologias associadas ao controle operacional da linha de produção do minério beneficiado. Dentre as áreas de atuação, onde há a necessidade crescente de estudos e pesquisas, destaca-se a “Análise do Escoamento de Material Granular”. Para o projeto de um sistema de transporte de minério faz-se necessário um estudo detalhado do comportamento dinâmico do material granulado que se está trabalhando e a sua interação com os equipamentos de transporte. A Fig.1 apresenta problemas típicos encontrados na indústria de mineração, como o entupimento de chutes de transferência (Fig. 1a) e desalinhamento de transportadores de correia (Fig. 1b), ocasionando grande prejuízos, através de paradas operacionais, restrição da capacidade de transporte e elevados custo de manutenção.

Figura 1. Problemas no manuseio de minério: (a) Entupimento de chute; (b) Desalinhamento de correia.

Como já mencionado em parágrafo anterior, é imprescindível conhecer as características de fluxo de materiais granulados para que uma indústria de beneficiamento mineral opere da forma que foi planejada. Nesse sentido, com o crescente desenvolvimento da tecnologia computacional, vem

crecendo também a utilização do Método dos Elementos Discretos no projeto de linhas de transporte de granulados. O Método dos Elementos Discretos, ou simplesmente MED ou DEM (*Discrete Element Method*) é um método de simulação numérica do movimento de um grande número de partículas (normalmente modeladas por geometrias simples) dentro de um sistema fixo ou móvel variante com o tempo. O método fornece uma detalhada descrição das posições, velocidades e forças agindo em cada corpo ou partícula assim como nos contornos físicos em cada instante de tempo na análise devido a forças de atrito, eletrostáticas, magnéticas, gravidade e coesão.

Um dos atrativos do método é visualização virtual dos movimentos das partículas dentro do sistema sob análise. Desta forma, atualmente, o DEM está se tornando largamente aceito como um método efetivo de avaliar a problemas de engenharia envolvendo materiais granulados especialmente em problemas de escoamento de partículas, tendo assim aplicação em várias áreas como, por exemplo, no campo da geofísica/sismologia, fratura de rochas, mecânica de solos e mineração.

Tendo o Estado do Pará um forte setor industrial de mineração o qual demanda por profissionais mais qualificados no setor, criou-se na Faculdade de Engenharia Mecânica da UFPA o Grupo de Estudos de Transporte de Sólidos Granulados. Atualmente, o grupo conta com professores e alunos de pós-graduação (mestrado). O grupo conta com uma boa infraestrutura computacional e com apoio de projetos de pesquisas financiado pela empresa Vale S.A. As pesquisas realizadas pelo Grupo envolvem tanto alunos da pós-graduação quanto alunos da graduação, o que fortalece a formação do engenheiro mecânico na área de processamento mineral. Assim sendo, este artigo mostra em linhas gerais a fundamentação do DEM e os principais resultados das pesquisas do Grupo de Transporte de Sólidos Granulados com o DEM aplicado tanto na correta modelagem e calibração do modelo das simulações quanto nas aplicações em soluções de problemas de escoamento de granulados em equipamentos usados na indústria de mineração.

2. O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS (DEM)

O DEM considera um número finito de partículas discretas interagindo por meio de forças de contato e não-contato, e cada partícula, no sistema considerado, pode realizar movimentos de translação e rotação, os quais são governados pela 2ª Lei do Movimento de Newton (Zhu *et al.*, 2008).

O método foi originalmente desenvolvido por Cundall e Strack (1979), que modelaram sistemas bem simples. Nos 15 anos seguintes, a modelagem foi restrita a problemas com simples geometrias, em escala reduzida (100 a 1000 partículas) e em 2D, tais como em escoamento de chutes, pequenos silos

e células de cisalhamento, mas apenas com o intuito de compreender os fundamentos do escoamento de materiais granulares (Cleary, 2010).

Com o desenvolvimento da tecnologia computacional, os tamanhos (computacionais) dos modelos em estudos aumentaram significativamente a partir de meados dos anos 90. Modelos eram constituídos na faixa entre 10.000 a 100.000 partículas, sendo a maioria em 2D ou já em 3D, mas com geometria bem simples. Atualmente, o método tem sido aplicado em grande escala industrial, em três dimensões e em sistemas com geometrias complexas (Cleary, 2010).

A modelagem do movimento das partículas consiste na resolução da equação do movimento da 2ª lei de Newton através de integração numérica. As forças e momentos externos agindo em cada partícula são devidos a choques com outras partículas, choques com as superfícies de contorno do escoamento, força gravitacional e também devido à influência de ondas provocadas por outras partículas que não estão em contato e devido ao fluido no qual as partículas estão contidas (Fig. 2). Portanto, no DEM as equações governantes do movimento, de acordo com 2ª lei de Newton para movimento de translação e rotação, são:

$$m_i \frac{dV_i}{dt} = m_i g + \sum_{j=1}^k (F_{n,ij} + F_{n,ij}^d + F_{t,ij} + F_{t,ij}^d) + \sum_k F_{i,k}^{nC} + F_i^f \quad (1)$$

$$I_i \frac{d\omega_i}{dt} = \sum_{j=1}^k (T_{i,j} + \tau_{i,j}) \quad (2)$$

sendo m_i e I_i a massa e o momento de inércia da partícula i , respectivamente; v_i e ω_i as velocidades translacional e angular da partícula i , respectivamente; F_{ij}^c e M_{ij} são a força de contato e torque agindo na partícula i pela partícula j ou pelas paredes; F_{ik}^{nC} é a força de não-contato atuando na partícula i pela partícula k ou por outras fontes; F_i^f é a força de interação partícula-fluido na partícula i ; e F_i^g é a força gravitacional (Zhu *et al*, 2007).

Figura 2. Representação das forças de contato entre as partículas i, j e k (adaptado de Zhu *et al.*, 2007).

Vários modelos têm sido propostos para calcular estas forças e torques. Em Zhu *et al.* (2007), diversos modelos são discutidos em maiores detalhes, assim como nos trabalhos de Paul Cleary da Divisão de Matemática e Informação da CSIRO (*The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*) na Austrália, que têm publicado recentemente vários trabalhos sobre a aplicação do DEM na mineração e geologia (Cleary *et al.*, 1998; Cleary e Morrison, 1999; Cleary, 2010).

Uma vez que as forças e torques são conhecidos, as Eqs. (1) e (2) são resolvidas numericamente. Desta forma, as trajetórias e velocidades são resolvidas para um determinado instante de tempo. Para o incremento de tempo seguinte, as ações externas são novamente determinadas e as respostas (deslocamento e velocidade) são novamente determinadas. E este processo repete-se durante toda a análise.

Na análise DEM as partículas tradicionalmente são aproximadas por discos ou esferas, em análises em duas e três dimensões, respectivamente. Estas formas são preferíveis, pois são computacionalmente eficientes. Contudo, há casos em que esta idealização não traz resultados confiáveis. Existem outras escolhas de abordagens para representar formas de partículas não circulares ou não-esféricas. Portanto, diferentes formas podem ser obtidas por meio da superposição dessas formas mais simples, como mostra a Fig. 3.

Figura 3. Formas de partículas usadas no DEM (Santos *et al.*, 2020)

Na área de mineração e siderurgia o método DEM representa o estado-da-arte na simulação numérica de processo envolvendo o escoamento de partículas. A Fig. 4 apresenta alguns exemplos de modelagem do escoamento de partículas realizadas por discentes da UFPA: modelagem de escoamento em peneiras (Matos, 2016); escoamento em moinho (Soares, 2015; Bezerra Filho, 2015) e fluxo mássico de minério em silo (Mascarenhas *et al.*, 2019).

Figura 4. Simulações de escoamento de partículas em peneira vibratória (à esquerda), moinho de bolas (centro) e silo (à direita).

3. PESQUISA NA UFPA SOBRE ESCOAMENTO DE GRANULADOS USANDO O DEM

O Grupo de Pesquisa em Transporte de Sólidos Granulados e integrantes do Laboratório de Fluidodinâmica e Particulados – FluidPar da UFPA já vêm trabalhando há algum tempo com particulados, como transporte pneumático (Gomes *et al.* 2009), escoamento em silos (Mesquita *et al.*, 2009), fluidização (Lourenço *et al.*, 2009), chutes de transferência de correias transportadoras (Trejo *et al.*, 2010) e tendo também experiência em simulação numérica (Lins *et al.*, 2009). Agora com o suporte da simulação computacional usando o DEM, todas essas linhas de pesquisa foram beneficiadas.

A utilização do DEM pelo Grupo teve início com o suporte financeiro do Projeto “Simulação Numérica de Sistemas Particulados na Mineração e Siderurgia através do Método DEM” do Edital VALE-FAPEMIG-FAPESPA-FAPESP nº 01/2010, que foi executado por Equipes de Pesquisadores da UFPA, ITA

e UNIFEI. Como resultado desse projeto, vários trabalhos foram desenvolvidos a partir da aquisição dos aplicativos EDEM® da *DEM Solutions* e *Bulk Flow Analyst™* da *Overland Conveyor*. Em 2018 houve a criação do Laboratório de Fluidodinâmica e Particulados, sediado no Parque de Tecnologia do Lago de Tucuruí – TECNOLAGO, no campus da UFPA de Tucuruí-PA, que reforçou o Grupo e impulsionou o desenvolvimento da pesquisa usando DEM na UFPA. O FluidPar tem o apoio estruturante da Vale, através do Projeto Estudos de Controle de Poeira durante o Manuseio.

A seguir são descritos os principais resultados publicados pelo Grupo de Transporte de Sólidos Granulados da UFPA desde seu início até o ano de 2020. Os trabalhos desenvolvidos são classificados em duas grandes classes: (i) Validação dos modelos do escoamento de partículas a partir de dados experimentais; e (ii) Análise de escoamento de sólidos granulados em equipamentos de transporte usados na mineração (correias transportadoras, chutes de transferências, peneiras, silos e outros).

3.1. MODELAGEM DO ESCOAMENTO DE PARTÍCULAS DEM

Em relação à primeira classe, Carvalho *et al.* (2012) analisaram dois modelos de coesão capilar já existentes no EDEM, que são o modelo de Mitarai e Nori (2006) que realiza uma aproximação linear para a força de coesão e o outro modelo denominado JKR, o qual é baseado no trabalho de Johnson *et al.* (1971). O modelo JKR apresenta uma formulação mais aprimorada que a aproximação linear. Os escoamentos de partículas modeladas com cada metodologia de coesão capilar foram comparados com o escoamento real de esferas em caixa de fluxo de laboratório com o material seco e com material umidade. A Fig. 5 mostra o escoamento real das esferas a seco e a úmido.

Figura 5. Ensaio realizado na caixa de fluxo: (a) Material seco; (b) Material úmido.

Para se fazer as comparações, simulações foram feitas com a caixa de fluxo virtual no EDEM nas duas condições de material (seco e úmido) usando as duas metodologias de coesão capilar. A Fig. 6 ilustra um resultado de simulação de escoamento a seco com modelo de coesão JKR.

Figura 6. Resultado da simulação utilizando o modelo JKR após 11 s de abertura da válvula na caixa de fluxo virtual.

A Fig. 7 mostra as comparações (erros) entre os resultados numéricos e experimentais para material úmido. Como pode se observar os dois modelos fornecem resultados similares, sobretudo para o ângulo medido na parte inferior da caixa de fluxo, quanto a parte superior o modelo de coesão linear mostra maior aproximação com os dados experimentais.

Figura 7. Comparação entre os resultados numéricos e experimentais. (a) Resultados para a parte superior da caixa e (b) Resultados para a parte inferior da caixa.

No intuito de reduzir o número de simulações numéricas para a determinação dos parâmetros microscópicos (parâmetros de entrada, tal como os coeficientes de atrito das partículas), Em Matos (2016) e Matos *et al.* (2017a) é descrita uma metodologia usando redes neurais e planejamento de experimentos (DOE), o qual emula os resultados do aplicativo DEM após um modelo de redes neurais ter sido gerado após poucas simulações DEM.

Como continuação do trabalho de Matos (2016), Vale (2020) realizou uma alteração na modelagem da rede neural e com auxílio do método de Monte Carlo, desenvolveu uma metodologia de calibração dos parâmetros de entrada da modelagem DEM a partir de ângulos de repouso dinâmico obtidos experimentalmente em um tambor rotativo (Fig. 8).

Figura 8. Comparativo entre os ângulos de repouso dinâmico experimentais e simulados para rotação de 13 rpm (Vale, 2020).

Em outro estudo, para modelagem da interação fluido com partículas sólidas, Branco Júnior *et al.* (2015) desenvolveram um método que acopla as modelagens DEM e CFD. Neste modelo CFD-DEM utilizado para simulação de fluidização de alumina, a modelagem da fase gasosa contínua foi realizada por meio da abordagem Euleriana, em que a fração volumétrica da fase é inclusa nas equações diferenciais parciais governantes. A modelagem da fase sólida discreta foi realizada por meio da abordagem Lagrangiana, em que o movimento das partículas representativas é rastreado por meio de equações diferenciais ordinárias (Lei de Newton do movimento) e as forças de colisão das partículas são determinadas pelo Método dos Elementos Discretos. A Fig. 9 mostra a transição do leito simulado da condição fixa para a fluidizada quando submetido à ação de fluido com diferentes velocidades.

Figura 9. Transição do leito fixo ao fluidizado na simulação CFD-DEM (Branco Júnior *et al.*, 2015).

Em relação à modelagem DEM da forma de partículas, Santos *et al.* (2020) analisaram o quão bem partículas esféricas podem reproduzir o fluxo de partículas irregulares. Nessa análise, quatro partículas com diferentes formas (uma esférica e três irregulares) foram analisadas por meio de simulações do escoamento do material particulado em uma caixa de fluxo virtual. A análise foi baseada na aferição

do ângulo de repouso após a estabilização da pilha dentro caixa de fluxo. As formas geométricas usadas na análise (Fig. 3) apresentaram esfericidade variada para um diâmetro equivalente de 10 mm. A Fig. 10a mostra a simulação no EDEM do escoamento de esferas na caixa de fluxo e a Fig. 10b mostra a comparação entre os valores dos ângulos de repouso superiores das partículas de diferentes formas.

Figura 10. Simulação do escoamento de esferas (forma 1) em uma caixa de fluxo virtual. (b) Comparação entre os valores dos ângulos de repouso das partículas de diferentes formas.

Em seguida, cada partícula de forma irregular foi modelada por uma partícula esférica por meio de alterações em seus parâmetros microscópicos, principalmente o coeficiente de atrito de rolamento, o qual permite que os efeitos dos atritos das diferentes formas irregulares sejam incorporados ao modelo da partícula esférica. Após os modelos esféricos das partículas irregulares terem sido calibrados pelo ângulo de repouso β (Tabela 1) e realizados novamente os escoamentos, verificou-se o ganho no tempo computacional das modelagens das partículas irregulares usando partículas esféricas (Fig.11).

Tabela 1. Comparação entre os ângulos de repouso das partículas irregulares com os seus modelos esféricos.

β para as partículas não esféricas	β para os modelos esféricos das partículas irregulares	Desvio (%)
48.4	48.90	1.03
46.2	46.25	0.11
51.3	51.40	0.19

Figura 11. Tempo de processamento gasto nas simulações de escoamento das partículas.

3.2. APLICAÇÃO DO DEM PARA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM EQUIPAMENTOS DE MINERAÇÃO

Em relação aos trabalhos da segunda classe pode-se destacar inicialmente uma análise de chutes de transferência de minério de ferro (Nogueira *et al.*, 2011). Na primeira parte desse trabalho é mostrada a calibração do modelo usado e em seguida mostra-se a utilização do modelo na análise de chutes de transferência, que fazem parte do projeto de expansão do porto Ponta da Madeira da Vale, em São Luis. Uma das importantes análises realizadas é a verificação do desalinhamento da correia de recebimento. Isso é obtido dividindo-se a região de recebimento de material da correia de recebimento em duas regiões simétricas e efetivando a contagem de partículas em função do tempo, assim têm-se o NPLE (número de partículas do lado esquerdo) e o NPLD (número de partículas do lado direito) (Fig. 12 à direita). A Figura 13a mostra uma correia com um desalinhamento de 3% e a Figura 13b um desalinhamento de 20%.

Figura 12. Resultado da simulação do escoamento de minério de ferro em um chute de transferência e correias transportadoras (à esquerda). Correia de recebimento mostrando o NPLE e o NPLD (à direita).

Figura 13. Resultados para desalinhamento de correia: (a) 3%; (b) 20%.

Peneiras vibratórias têm uma grande importância na fase de cominuição de minérios. No intuito de otimizar esse processo de separação de tamanhos de particulados, Matos (2016) e Matos *et al.* (2017b) analisaram, por meio das ferramentas Planejamento de Experimentos (DOE), DEM e redes neurais, quais os parâmetros cinemáticos que mais influenciam na eficiência do peneiramento de minério de ferro cujas propriedades foram obtidas de Zhao *et al.* (2011).

A técnica DOE foi usada para definir o número mínimo de simulações requeridas para treinar uma rede neural que pudesse, após treinada, reproduzir os resultados do DEM. Assim, as demais simulações requeridas para análise dos parâmetros cinemáticos puderam ser realizadas no modelo de redes neurais, otimizando o tempo computacional. Após a rede treinada, ela foi usada para os testes necessários para gerar o modelo de regressão que avaliasse os parâmetros vibracionais de entrada (frequência, amplitude de movimento e inclinação da peneira) e a saída (eficiência de separação de finos). A Fig. 14b mostra a influência da frequência e da amplitude na eficiência de separação para peneira horizontal (Fig.14a). Fica evidente que a frequência tem uma variação maior que a amplitude, e, portanto, esse parâmetro influencia de forma mais efetiva a eficiência de separação.

Figura 14. (a) Peneira horizontal e (b) variação da eficiência em função da frequência e da amplitude do movimento do deck da peneira

A Fig. 15 mostra uma simulação em andamento de uma peneira inclinada. As partículas azuis têm granulometria menor que a abertura da tela, e as partículas verdes e vermelhas tem granulometria maior que a abertura da tela. É possível verificar na figura que logo nos primeiros estágios do peneiramento a quantidade de passantes é maior, e que vão diminuindo em direção à descarga da peneira.

Figura 15. Simulação peneira inclinada: 20° 12,5 Hz e 4mm. 85% de eficiência de separação.

A Fig. 16 mostra a variação dos parâmetros cinemáticos de entrada e como eles influenciam a eficiência de separação. Fica evidente que a frequência influencia bastante a eficiência de separação. A amplitude influencia menos, e a inclinação praticamente não influencia de forma significativa a eficiência de separação.

Figura 15. Simulação peneira inclinada: 20° 12,5 Hz e 4mm. 85% de eficiência de separação.

A Fig. 16 mostra a variação dos parâmetros cinemáticos de entrada e como eles influenciam a eficiência de separação. Fica evidente que a frequência influencia bastante a eficiência de separação. A amplitude influencia menos, e a inclinação praticamente não influencia de forma significativa a eficiência de separação.

Figura 16. Variação dos parâmetros cinemáticos na peneira inclinada e efeito na eficiência de separação.

No beneficiamento do manganês, a tipologia Pelito Manganesífero Siltito (PMS) tem relevante participação no depósito e apresenta características de alta coesividade, aumentando a dificuldade nas transferências. Portanto, não é raro ocorrer problemas de escoamento em chutes e silos no processamento do manganês. No trabalho de Mesquita *et al.* (2018) são relatadas várias soluções propostas por meio do DEM para problemas de transferência em uma planta de beneficiamento do manganês. Nesse trabalho, inicialmente, realizaram-se as etapas de ensaios de caracterização e calibração do modelo DEM. Em seguida, foi realizada uma campanha de verificação de projetos de chutes e silos. Dentre as análises realizadas descritas em Mesquita *et al.* (2018), aqui são descritas resumidamente duas: alteração em placas defletoras em um chute de transferência para duas correias transportadoras receptoras e o escoamento em silo de sínter feed.

O projeto de alteração das placas defletoras no chute foi necessário, pois uma correia de recebimento estava sendo sobrecarregada em relação a outra correia, conforme mostra o resultado de simulação na Figura 17a. Na Figura 17b é mostrado o escoamento com a alteração do projeto das placas, que permitiu se obter uma operação adequada para a alimentação simultânea dos transportadores de recepção, assim como um bom alinhamento das correias para todas as condições operacionais.

Figura 17. Simulação DEM do escoamento de manganês através de um desviador: (a) projeto básico inicial; (b) projeto básico alterado.

Em relação à análise em silo, foi estudado um projeto preliminar de um silo de sinter feed (para enchimento em caminhões) utilizando os ensaios de cisalhamento em célula Jenike. A Fig. 18 apresenta três pontos de condições de projeto sobre o gráfico de tipo de escoamento, seguindo a metodologia estabelecida por Jenike (Jenike, 1964, Schulze, 2008). Para materiais coesivos, o princípio de projeto é promover o escoamento do tipo mássico, pois o escoamento do tipo funil pode produzir entupimento, além de diminuir a capacidade útil do silo. O ponto 1 é a condição do projeto básico preliminar, com um ângulo de moega do silo que produziria o escoamento do tipo funil, portanto não adequado. Aumentando-se o ângulo da moega atinge-se um escoamento mássico, mostrado pelo ponto 2 no gráfico e também comprovado por simulações DEM. O ângulo da moega é fundamental para o projeto de toda a instalação, considerando ainda a altura necessária para a movimentação dos caminhões. Para diminuição deste ângulo, favorecendo o projeto da instalação, poder-se-iam revestir as paredes internas da moega, diminuindo o fator de atrito. Esta condição é mostrada pelo ponto 3. Para determinação exata deste ponto são necessários ensaios com os materiais de revestimento.

Figura 18. Análise de condições de projeto de silo. Ponto 1: projeto básico inicial. Ponto 2: projeto básico alterado. Ponto 3: uso de material de menor atrito para revestimento da moega.

Ainda em relação a silos, Mascarenhas *et al.* (2017; 2019) apresentaram estudos de dimensionamento de tremonhas cônicas de silos de caulim para fluxo mássico. Foram comparados os resultados semi-analíticos das teorias de Jenike (1964) e de Enstad (1975) com os resultados de simulação numérica por DEM e com os resultados experimentais em silos de acrílico em laboratório (Fig.19).

Figura 19. Fluxo de caulim no silo com tremonha de 18 graus com 10 cm de abertura de descarga.

Nesses estudos foi comprovada que a Teoria de Jenike é mais conservadora que a teoria de Enstad para a determinação do ângulo de inclinação da tremonha e de seu diâmetro de descarga para que o escoamento seja do tipo mássico. Essa comprovação foi verificada tanto experimentalmente como numericamente. A Fig. 20 mostra numericamente dois casos de incorreto dimensionamento de silos: no primeiro caso, quando o diâmetro insuficiente permite o surgimento de arcos coesivos que acarretam obstrução do fluxo. No segundo caso, o ângulo da tremonha é insuficiente para permitir o fluxo mássico desejado, e na figura visualiza-se a ocorrência do fluxo de funil, onde há o surgimento

de um caminho preferencial para a descarga do material e assim vários problemas podem surgir (segregação, incrustação, dentre outros).

Figura 20. (a) Silo com 24° de inclinação e com 4 cm de abertura de descarga: ocorrência de arqueamento obstruindo a saída do silo; (b) Silo com 31° de inclinação e com 9 cm de abertura de descarga: ocorrência de fluxo de funil.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou os fundamentos da teoria do Método dos Elementos Discretos (DEM) e o estágio atual da pesquisa do Grupo de Pesquisa em Transporte de Sólidos Granulados da FEM-ITEC, Campus de Belém, e do FluidPar - Laboratório de Fluidodinâmica e Particulados, Campus de Tucuruí, da UFPA, sobre o uso desta poderosa ferramenta numérica para análise de escoamento de partículas.

Foram apresentados resultados de alguns trabalhos realizados pelos Grupo de Pesquisa, os quais foram divididos em duas classes temáticas: (i) Validação dos modelos do escoamento de partículas a partir de dados experimentais; e (ii) Análise de escoamento de sólidos granulados em equipamentos de transporte usados na mineração (correias transportadoras, chutes de transferências, peneiras, silos e outros).

Os autores acreditam que o desenvolvimento desta pesquisa proporcionará vários benefícios, tanto para a indústria, nos trabalhos realizados em parceria, como na formação dos engenheiros da região, onde há uma forte demanda de profissionais com conhecimentos nesta área.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Vale S.A e a FAPESPA pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ABM, Associação Brasileira de Metalurgia. Indústria de mineração do Pará registra 15% de crescimento no volume de exportações em 2020. Disponível em:

<<https://www.abmbrasil.com.br/por/noticia/industria-de-mineracao-do-para-registra-15-de-crescimento-no-volume-de-exportacoes-em-2020>>. Acesso em 13 jun 2021.

BEZERRA FILHO, M.A.F. Uso do método dos elementos discretos para avaliação da potência dissipada na moagem autógena em função do volume de carga e perfil de revestimento. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, 2015.

BRANCO JUNIOR, A.M.C., MESQUITA, A.L.A., VAZ, J.R.P. Application of the linear spring-dashpot model in the CFD-DEM simulation of alumina fluidization. *Thermal Engineering*, v. 14, n. 2, p. 95-101, 2015.

CARVALHO, L.C.S., MESQUITA, A.L.A., GOMES, L.M., NETO, E.F., MAFRA, M.P., Análise de modelos de coesão capilar para a simulação numérica de escoamento de granulados, Anais: VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM 2012, São Luís-MA, 2012.

CLEARY, P. DEM prediction of industrial and geophysical particle flows, *Particuology*, v.8, p. 106–118, 2010.

CLEARY, P., METCALFE, G., LIFFMAN, K. How well do discrete element granular flow models capture the essentials of mixing processes? *Applied Mathematical Modelling*, v. 22, Issue 12, p. 995-1008, 1998.

CLEARY, P., MORRISON, R.D. Particle methods for modeling in mineral processing. *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, v. 23, n. 2, p. 137–146, 2009.

CUNDALL, P.A., STRACK, O.D.L. A discrete numerical model for granular assemblies. *Geotechnique*, v. 29, p. 47–65, 1979.

ENSTAD, G. On the theory of arching in mass flow hoppers. *Chemical Engineering Science*, v. 30, p. 1273-1283, 1975.

GOMES, L. M, AMARANTE MESQUITA A. L., SILVA, M. O, MACIAS, P. H.S. Experimental study of parameters influencing the pickup velocity in conveying systems. *Proceedings: 20th International Congress of Mechanical Engineering*, Gramado, RS, Brazil, 2009.

JENIKE, A., Storage and flow of solids, Bulletin 123, University of Utah Engineering Station, 1964 (revised, 1976).

JOHNSON, K.L., KENDAL, K., ROBERTS, A. D. Surface energy and the contact of elastic solids. *Proc. R. Soc. Lond. A.*, 324, p. 301-313, 1971.

LINS, E. F. ELIAS, R N., BERNADÁ, G. M. G., ROCHINHA, F. A., COUTINHO, A.L.G.A. Edge-based finite element implementation of the residual-based variational multiscale method. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, v. 61, p. 1-22, 2009.

LOURENÇO, R., SILVA, M.O., ESTUMANO, D., SAMPAIO, A., AMARANTE MESQUITA, A. L., MACEDO, E.N. Fluid dynamics behavior analysis of alumina particles in fluidized bed. Proceedings: 20th International Congress of Mechanical Engineering, Gramado-RS, Brasil, 2009.

MASCARENHAS, F.P., MESQUITA, A.L.A., CUSTÓDIO FILHO, S.S., MESQUITA, A.L.A. Simulação computacional do fluxo de caulim em silos pelo método dos elementos discretos. Brazilian Journal of Technology, v. 2, n. 2, p. 683-694, 2019.

MASCARENHAS, F.P., MESQUITA, A.L.A., PINHEIRO, K.A., MESQUITA, A.L.A. Identificação de propriedades de fluxo do caulim e dimensionamento de tremonha de silo para fluxo mássico. Revista Matéria, v. 22, n. 4, e-11892, 2017.

MATOS, M.S.V. Uso do planejamento de experimentos (DOE) e redes neurais artificiais (RNA) em aplicações usando o método dos elementos discretos (DEM). Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, 2016.

MATOS, M.S.V., LIMA, D.L., MESQUITA, A.L.A. Análise numérica da influência dos parâmetros cinemáticos na eficiência de peneiras horizontais e inclinadas. Anais: XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Belém-PA, outubro, 2017b.

MATOS, M.S.V., LIMA, D.L., MESQUITA, A.L.A. Calibração de modelo de partículas no método dos elementos discretos usando planejamento de experimentos e redes neurais. Anais: XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Belém-PA, outubro, 2017a.

MESQUITA, H., MACIAS, P.H.S., MESQUITA, A.L.A., PINHEIRO, K.A., MESQUITA, A.L.A., SOUZA, H.S., OLIVEIRA, A.H. BRITO, H.L.S. Aplicação do método dos elementos discretos para modelagem e simulação do escoamento de minério de manganês. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 10, n. 2, p. 41-50, 2018.

MESQUITA, H., SILVA, M.O., LOURENÇO, R.O., LINS, E.F., AMARANTE MESQUITA, A.L. Theoretical and experimental analysis of discharge silos designs for particulate materials. Proceedings: 20th International Congress of Mechanical Engineering, Gramado-RS, Brasil, 2009.

MITARAI, N., NORI, F. Wet granular materials. Advances in Physics, vol. 55, p. 1-45, 2006.

NOGUEIRA, L.R., PATROCÍNIO, M., MENDES, P.J.S., GUIMARÃES, M.A., SILVA, R.V.G., MESQUITA, A.L.A., MARTELLI, A.M.T., Uma metodologia para a simulação de chutes de transferência – aplicação para minério de ferro. Anais: 12º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, Vitória-ES. 2011.

SANTOS, E.G., CARVALHO, L.C.S., MESQUITA, A.L.A., GOMES, L.M., PINHEIRO, K.A., MESQUITA, A.L.A. Discrete element modeling of non-spherical particles using a spherical shape. REM - International Engineering Journal. v.73, n. 3, p. 361-369, 2020.

SCHULZE, D., Powders and bulk solids – behavior, characterization, storage and flow, Springer, 2007.

SOARES, R.F. Análise via DEM do movimento da carga de moagem e consumo de potência em função da rotação. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, 2015.

TREJO, A.M.M., OLIVEIRA NETO, O.N., ROSÁRIO, E.S.B. AMARANTE MESQUITA, A.L., Projeto de um chute de transferência de alumina hidratada usando DEM. Anais: IV Congresso Internacional do Alumínio, p. 567-577, São Paulo-SP, Brasil, 2010.

VALE, J.C.B. Identificação de parâmetros de modelo DEM via redes neurais artificiais associadas ao método de Monte Carlo. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, 2020.

ZHAO L., ZHAO, Y., LIU, C., LI, J., DONG, H. Simulation of the screening process on a circularly vibrating screen using 3D - DEM. Mining Science and Technology (China), v. 21, Issue 5, p. 677-680, 2011.

ZHU, H.P., ZHOU, Z.Y., YANG, R.Y., YU, A.B. Discrete particle simulation of particulate systems: a review of major applications and findings. Chemical Engineering Science, v. 63, p. 5728 – 5770, 2008.

ZHU, H.P., ZHOU, Z.Y., YANG, R.Y., YU, A.B. Discrete particle simulation of particulate systems: Theoretical developments. Chemical Engineering Science, v. 62, p. 3378 – 3396, 2007.

Capítulo 4

10.37423/210604301

DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE EM MATLAB PARA APRENDIZADO E COMPARAÇÃO DE MÉTODOS NUMÉRICOS

Giovane Malcher da Silva

Universidade Federal do Pará

Duaymy Bruno Rodrigues Góes

Universidade Federal do Pará

Danielle Lima Guedes

Universidade Federal do Pará

Wesley Barbosa Tavares

Universidade Federal do Pará

Orlando Fonseca Silva

Universidade Federal do Pará

Resumo: O objetivo deste trabalho é desenvolver uma interface gráfica amigável capaz de melhorar o ensino de cálculo numérico, além de simplificar a resolução de problemas de engenharia envolvendo a aplicação de métodos numéricos. Neste sentido, fez-se o uso do software MATLAB para implementar os métodos e criar um meio interativo para a inserção dos dados referentes aos problemas, que mostre as soluções de uma forma clara, com informações que permitam não apenas melhorar a compreensão de cada método mas também avaliar seu desempenho. Assim, propõe-se uma aplicação prática do conhecimento teórico de cálculo numérico adquirido pelo estudante de engenharia. A interface criada foi submetida a testes baseados em exemplos simples e diferentes métodos foram comparados na busca de uma mesma solução.

Palavras-chave: Cálculo Numérico; interface gráfica; ferramenta didática.

1. INTRODUÇÃO

A solução de problemas físicos baseia-se, primeiramente no estabelecimento do problema, posteriormente em sua modelagem e com isso, a obtenção do modelo matemático. A fase seguinte consiste na resolução do modelo obtido, ou seja, mostrar se ele tem solução ou não e se sua solução é única. Feito isso, busca-se a solução final. Para tal, usualmente são aplicados métodos analíticos. No entanto, em inúmeras situações práticas esse caminho de solução apresenta-se de difícil desenvolvimento. Uma via alternativa para esse tipo de problema é o Cálculo Numérico, o qual tem sua importância centrada no fato de que, mesmo quando a solução analítica é de difícil aquisição, as técnicas numéricas podem ser empregadas sem maiores dificuldades. No entanto, durante o emprego de tais métodos de forma manual, as frequentes mudanças de parâmetros, combinadas com um amplo número de iterações constituem uma dificuldade. A utilização de recursos computacionais permite contornar tal empecilho, além de proporcionar maior precisão devido a sua velocidade, possibilitando um número de iterações bastante elevado. Dessa forma, o presente trabalho, tem por objetivo, desenvolver uma interface gráfica amigável capaz de otimizar a utilização de métodos numéricos, além de simplificar a resolução de problemas de engenharia envolvendo suas aplicação.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

A disciplina de Cálculo Numérico tem por objetivo apresentar ao aluno algoritmos e métodos pelos quais se podem resolver modelos e sistemas matemáticos que não apresentam solução precisamente definida ou por rápida análise, devido a sua complexidade. Para fins didáticos, os métodos numéricos reunidos na interface gráfica criada foram divididos em categorias, de acordo com sua aplicabilidade.

2.1. MÉTODOS PARA OBTENÇÃO DE RAÍZES REAIS

A aquisição das raízes de certas funções não tradicionais é um trabalho árduo e, por vezes, impossível. Os métodos desta categoria são comumente utilizados para encontrar as raízes de funções complicadas. São eles os métodos da bissecção, da posição falsa, de Newton-Raphson e das secantes. Os dois primeiros são robustos e mais lentos que os outros. O método de Newton é rápido e preciso, mas utiliza a derivada da função abordada, o que, na prática, pode impor dificuldades em seu uso. O método das secantes é rápido e não se vale da derivada da função abordada.

2.2. MÉTODOS PARA RESOLUÇÃO DE SISTEMAS DE EQUAÇÕES

As incógnitas de sistema de equações de baixa ordem são facilmente encontradas por inspeção ou métodos simples, como o da adição e da substituição. Entretanto, matrizes de ordem elevada dificultam a realização deste tipo análise, surgindo então a necessidade de métodos para resolução de sistemas de equações independentes da ordem. Neste trabalho, os métodos presentes, desta categoria, são: método de Gauss-Jacobi, Gauss-Seidel, eliminação de Gauss-Jordan, fatoração LU, regra de Cramer e Inversa da matriz.

2.3. MÉTODOS PARA APROXIMAÇÃO DE FUNÇÕES

Em experimentos práticos, os dados obtidos a partir de amostragens são pontuais e descontínuos. Existe, portanto, a necessidade de se descobrir uma função com a qual possamos dar a este fenômeno a continuidade desejada. Os métodos utilizados neste trabalho para esta aplicação são a interpolação polinomial, as séries de Taylor e o método dos mínimos quadrados. Outra aplicação dos métodos desta categoria é a simplificação de funções complexas

2.4. MÉTODOS PARA DIFERENCIAÇÃO NUMÉRICA

O método da diferenciação numérica obtém o valor numérico da derivada de uma função dado um ponto, através do quociente entre a diferença de dois valores da função para pontos distintos (sendo um destes, o ponto em questão), e a distância entre estes dois pontos. Embora para funções simples tenha pouca aplicação prática, para funções mais complexas pode ser de grande valor.

2.5. MÉTODOS PARA INTEGRAÇÃO NUMÉRICA

Algumas funções são de difícil integração, ou seja, a expressão analítica de sua primitiva é desconhecida. Em aplicações práticas que haja a necessidade do resultado da integral definida de uma função deste tipo, os métodos de integração numérica são utilizados para encontrar uma área específica, delimitada pela função. Os métodos de integração numérica contidos neste trabalho são a Regra do Ponto Médio, a Regra do Trapézio e a Regra de Simpson.

3. CONSTRUÇÃO DE INTERFACES EM MATLAB

MATLAB é uma linguagem de alto nível e um ambiente interativo para computação numérica, visualização e programação. Usando MATLAB, é possível analisar os dados, desenvolver algoritmos e criar modelos e aplicações. A linguagem, ferramentas e funções matemáticas embutidas permitem-

Ihe explorar múltiplas abordagens e chegar a uma solução mais rápida do que com planilhas ou linguagens de programação tradicionais, como C / C++ ou Java. O MATLAB pode ser usado para uma variedade de aplicações, incluindo processamento de sinais e comunicação, imagem e processamento de vídeo, sistemas de controle, teste e medição, finanças computacionais, e biologia computacional. Além de todas essas funções há também a *toolbox* para construção de interfaces, ferramenta esta que permite com que sejam construídas ferramentas iterativas para certas aplicações, não sendo necessário dessa forma que o usuário digite linhas de comando ou mesmo conheça a complexidade por traz do código associado à aplicação.

3.1 . CONSTRUÇÃO DAS INTERFACES DE CADA MÉTODO

A primeira etapa do projeto baseou-se na elaboração de rotinas, utilizando-se o ambiente MATLAB, referentes a 22 métodos. Estes podem ser agrupados em cinco categorias. A primeira é formada por métodos iterativos utilizados na obtenção das raízes reais, sendo eles os métodos da bissecção, da posição falsa, de Newton-Raphson e da secante. A segunda é composta dos métodos utilizados para resolução de sistemas de equações, os quais podem ser

iterativos lineares (métodos de Gauss-Jacobi, Gauss-Seidel) ou diretos (eliminação de Gauss-Jordan, fatoração LU, regra de Cramer e Inversa da matriz). A terceira abrange métodos utilizados para aproximação de funções, nas quais são conhecidos apenas seus valores numéricos, por meio da interpolação polinomial, séries de Taylor e mínimos quadrados. As duas últimas categorias abrangem a diferenciação e integração numérica. A segunda etapa focou-se no desenvolvimento de interfaces gráficas de acordo com cada categoria de rotina. Para isso, utilizou-se a ferramenta *guide*, a qual inicia um editor interativo para criação e edição de interfaces, apresentando um conjunto de ferramentas que facilitam a manipulação dos objetos necessários ao seu desenvolvimento.

3.2 AGRUPAMENTO DO CONJUNTO DE INTERFACES

A princípio, devido ao grande número de métodos, foram desenvolvidas interfaces em janelas gráficas individuais para posteriormente realizar-se a integração de todas em uma única janela, permitindo ao usuário a utilização, paralelamente, de métodos diferentes.

A estrutura criada para a integração dos métodos consistiu na utilização de um grupo de painéis, sendo que, cada painel abriga a interface de um determinado método. No MATLAB, a função *uipanel* permite a criação de um objeto do tipo painel, que funciona como um elemento que agrupa botões, eixos e tabelas, sendo esses últimos associados ao primeiro. Desse modo, tona-se possível a habilitação de

um painel e a omissão dos outros de acordo com a determinação do usuário. Essa estrutura permite a existência de várias interfaces em uma mesma janela gráfica, as quais são gerenciadas com base nas propriedades do painel. Para a exibição de um método em específico, utilizou-se a função *uimenu*, a qual cria uma barra de menus, sendo que nesta são estabelecidas hierarquias de menus e submenus, mostrados na janela gráfica principal e sua organização se deu de forma que, cada menu corresponde a uma categoria de métodos.

Concluída a fase de gerenciamento para a exibição de painéis, iniciou-se a construção de uma barra de ferramentas, a qual disponibiliza opções para análise de resultados obtidos e edição da interface principal. A princípio disponibilizou-se a possibilidade de visualização de dois painéis em simultâneo, o que provê a comparação de resultados com dois métodos diferentes. Além disso, buscou-se disponibilizar funções tais como, zoom para ampliar e diminuir a visão de eixos, cursor de dados para análise ponto a ponto de curvas e a ferramenta mão que desloca a visão de eixos bidimensionalmente. Todas as ferramentas mencionadas são para análise de resultados, no entanto, além dessas, foram desenvolvidas opções para customização da interface principal. O primeiro item consistiu na possibilidade de inserir novos métodos, recurso este que, propicia ao usuário desenvolver seus próprios métodos e com isso, incrementar a ferramenta em questão, aprimorando sua utilidade na solução de problemas de ordem prática, assim como sua aplicabilidade educacional. Para isso, foi desenvolvido um assistente, no qual se permite adicionar novas classes e métodos. Ao ser inserido um novo método, é necessário apenas fornecer o arquivo *mfile* contendo sua interface e programação. Outra opção implementada permite a exportação de métodos, ou seja, a criação de um arquivo contendo a interface de um determinado método em uma janela gráfica individual. Por fim, foi criada uma opção que restitui os métodos iniciais, excluindo todos aqueles adicionados. A interface principal, assim como o assistente para sua edição são apresentados na Figura 1.

(a)

(b)

Figura I: (a) Interface Principal e o (b) assistente para sua edição.

Com a interface principal construída, iniciou-se a inserção das classes e métodos através do assistente. A primeira classe trata de métodos iterativos para o cálculo de raízes reais, e de acordo com os testes realizados na interface gráfica, os resultados obtidos foram aproximados, concluindo assim que a programação dos métodos que foi empregada para obtenção do resultado final foi adequada. A segunda classe agrupou os métodos para integração e diferenciação numérica. Na interface gráfica é possível fazer a diferenciação numérica por três métodos, estes são o Método da Diferença Central, Progressiva e Regressiva. No caso da integração numérica também existem três possíveis métodos de fazer a integração, que são o Método do Trapézio, o Método de Simpson e o Método de Simpson Repetido. Na terceira categoria foi criada uma classe para os métodos de aproximação e interpolação, contando com uma aba para os discretos. No caso dos métodos discretos, criou-se uma tabela para inserção das coordenadas dos pontos a serem utilizados, havendo a alternativa de se carregar um arquivo com seus valores por meio do botão *Load*. Com base nessas coordenadas, é calculada e plotada, em um eixo comum aos pontos, uma função de acordo com o algoritmo escolhido pelo usuário: pode ser uma função polinomial, exponencial ou de potência que melhor aproxima os pontos pelo método dos mínimos quadrados ou uma função polinomial que os interpola pelos métodos de Newton, de Lagrange ou da resolução do sistema linear correspondente, havendo uma tabela para mostrar informações sobre as iterações. A última categoria agrupou métodos diretos e iterativos para solução de sistemas de equações lineares. Para os métodos diretos a interface gráfica construída foi limitada para sistemas de até três equações e três incógnitas. Nesta aplicou-se um exemplo de sistemas, e as soluções obtidas foram iguais em todos os métodos dessa categoria. Nos iterativos, a interface apresentou espaço para o usuário disponibilizar não só o sistema, como também um valor inicial e o erro relativo. As Figuras 2 e 3 apresentam exemplos das interfaces construídas, sendo que primeira apresenta o conjunto de métodos para cálculo de raiz e a segunda para aproximação de funções. Pode-se perceber que sua utilização é bastante intuitiva e simples.

Figura 2: Cálculo de raiz através do método da Bisseção.

Figura 2: Cálculo de função de interpolação pelo método de Lagrange.

4. RESULTADOS

4.1.APLICAÇÃO DIDÁTICA E ATIVIDADES PROPOSTAS

A metodologia foi aplicada ao grupo de 12 alunos do 3º semestre do curso de Engenharia Elétrica da UFPA, como atividade complementar. Na aula explanatória foi destacada a importância da disciplina de Cálculo Numérico, expondo suas possíveis aplicações, e frisada a minúcia necessária durante o emprego dos métodos abrangidos pela matéria.

O roteiro do experimento complementou a metodologia aplicada, contendo atividades propostas, que foram baseadas na aula explanatória. A atividade proposta consistia em achar as raízes de certa função utilizando métodos iterativos, dado o número de iterações, chute inicial e erro desejado.

4.2.ANÁLISE DOS QUESTIONÁRIOS

A aplicação dos questionários tinha como principal objetivo avaliar a eficiência do método aplicado, e para isso verificou-se as opiniões dos alunos sobre os conhecimentos a respeito de Cálculo Numérico, assim como a compreensão dos mesmos no que condizem com as simulações realizadas nas atividades propostas da aula explicativa. A partir disso, foram coletados os dados e foram exibidos em forma de gráficos.

A primeira pergunta se referiu a opinião dos alunos quanto à capacidade do software em aprimorar seus conhecimentos de Cálculo Numérico, e todos os participantes responderam afirmativamente. A segunda pergunta buscou conhecer o impacto causado pela ferramenta no conhecimento dos alunos, e 66,67% dos graduandos responderam que o impacto foi muito significativo, ao passo que 33,33% disseram que o software ajudou a esclarecer algumas dúvidas sobre o conteúdo. A figura 3 mostra o gráfico com a porcentagem de respostas a esta pergunta.

Figura 3 – Resultados da pergunta “Como você avalia o impacto desta ferramenta em seus conhecimentos?”.

A terceira pergunta tinha por finalidade saber como se deu a interação entre o aluno e a interface, quanto a sua facilidade de manuseio. Desta vez, 75% dos alunos consideraram a interface bastante intuitiva, enquanto 25% consideraram-na simples, mas se fosse lhes dada às devidas orientações. A figura 4 mostra o gráfico com a porcentagem de respostas a esta pergunta.

Figura 4 – Respostas a pergunta “Como você avalia o uso da interface?”.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos na avaliação dos alunos, pode-se constatar que o *software* desenvolvido apresenta relevância quanto ao auxílio do entendimento de tópicos teóricos de cálculo

numérico ou mesmo na solução de problemas em geral. A ferramenta desenvolvida é de fácil compreensão e grande utilidade ao usuário com interesse no assunto.

A possibilidade de inserção de outros métodos na interface também amplia os horizontes de pesquisa, pois permite ao usuário utilizar novos algoritmos com as mesmas facilidades apresentadas pelo *software*.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RUGGIERO, M. A. G., LOPES, V.L.R. Cálculo Numérico: Aspectos Teóricos e Computacionais - Pearson, 1996. 422 p.

SPERANDIO, D., MENDES, J. T., MONKEN, L. H. Cálculo Numérico: Características Matemáticas e Computacionais dos Métodos Numéricos – Pearson, 2003. 368 p.

MathWorks Products and Services. Disponível em: <<http://www.mathworks.com>>.

Capítulo 5

10.37423/210604306

CORPOS-DE-PROVA EM ESCALA REDUZIDA DE ASFALTO COMPOSTO DE MADEIRA

Johnny Gilberto Moraes Coelho

Instituto Federal do Amapá

João Guilherme Mota de Sousa

Universidade Federal do Pará

Carmen Gilda Barroso Tavares Dias

Universidade Federal do Pará

Resumo: Para ensino em engenharia, o método proposto nesse trabalho facilita e acelera a execução prática de corpos-de-prova em laboratório, visando a economia de materiais de jazida e diminuindo os custos, dando enfoque a conscientização de sustentabilidade, onde a tendência é reaproveitar materiais que levam anos para deteriorar. Assim, a aplicação de madeiras utilizados em mistura asfáltica é o principal objetivo deste trabalho. A metodologia obedece as seguintes etapas: (1) cisalhamento e diminuição de partícula da madeira tipo tatajuba (*Bagassa guianensis*) e jatobá (*Hymenaea sp.*); (2) mistura com cimento asfáltico de petróleo (CAP); (3) confecção de corpos-de-prova de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) segundo a dosagem Marshall de escala reduzida. Nos ensaios mecânicos de compressão radial, houve ganho de estabilidade para amostras com valores de 3%, 4,5% e 6% de tatajuba para 7% de asfalto, porcentagem essa referente ao peso total. Para a madeira jatobá prevaleceu maiores resistências a valores de 3%, 4,5% e 6% de madeira jatobá com 7,5% CAP em peso. Desta forma, a viabilidade de aplicação do compósito asfalto/madeira para esse estudo é satisfatória e ambientalmente correta, quando trata-se de reutilização de materiais que possam substituir materiais de jazidas naturais.

Palavras-chave: Cimento asfáltico de petróleo, Tatajuba, Jatobá, CBUQ

1. INTRODUÇÃO

Para ensino em engenharia, a melhor forma de trabalhar com corpos-de-prova de asfalto é facilitando e acelerando a obtenção dos mesmos em laboratório. Assim como há cada vez mais a necessidade da conscientização ambiental e da economia de materiais de jazida, por consequência, diminuindo os custos.

Materiais ecologicamente corretos ou ditos materiais ecológicos, que são destinados para a indústria da construção civil e para a indústria moveleira vem sendo amplamente pesquisados por várias vertentes. É possível encontrar uma versão reciclada de praticamente qualquer material de construção. Arquitetos e engenheiros estão cada vez mais insistindo em materiais que oferecem maior vida útil e menores custos de reparação e manutenção. Além disso, há uma pressão para utilizar materiais que podem ser reciclados e, produzidos numa base sustentável (EVANS, et al. 2005).

A viabilidade econômica da reciclagem depende muito da aplicação. Em geral, os materiais virgens têm uma vantagem sobre o controle de qualidade de materiais reciclados. Mas a viabilidade econômica da reciclagem aumenta com o tempo, matérias-primas virgens se tornaram cada vez mais escassas e os custos de eliminação de restos de construção e outros resíduos continuam a aumentar. Nos últimos anos, houve uma proliferação da Green Building e princípios de desenvolvimento de sustentabilidade, que modificam o quadro econômico em favor da preservação do meio ambiente. Basicamente, às autoridades governamentais terão que nivelar a produção e os produtos lançados no mercado, mantendo os produtores responsáveis pelos custos associados com a disposição de seus produtos, e se estes estão associados a reutilização, reciclagem ou aterro. Em muitos países europeus, já é lei os fabricantes projetar seus produtos com os custos do reaproveitamento em mente. Em outras palavras, todo aquele que polui, paga pela limpeza do local (MEYER, 2005).

Quando falamos de aproveitamento de resíduos, a tendência é reaproveitar materiais que levam anos para deteriorar. Assim, a aplicação desse tipo de materiais utilizados em mistura asfáltica, por exemplo, com outros materiais tipo seixo, areia, materiais pétreos, cimentos, são comuns (AL-HADIDY, 2009a). Entre eles temos alguns termoplásticos pós-consumo, elastômeros e entulhos de obras, utilizados na substituição ou composição dos materiais de pavimentação (AL-HADIDY, 2009b).

Para as indústrias madeireiras é conveniente e necessário o aproveitamento dos resíduos de madeira, pois estes contribuem para menores custos de movimentação, redução nos custos de produção, maior eficiência na utilização da matéria-prima e redução de áreas de estocagem. Em média a produção de

uma madeira chega a ser 15.000 m³ de madeira ao ano, e 30% dessa madeira é estocada em armazéns (GOMES e SAMPAIO, 2004).

A possibilidade de utilização de resíduos sólidos proveniente da madeira, na forma de serragem, que são comumente descartados em lixões, aterros sanitários, rios, pátios de indústrias entre outros, ocasionando dano à qualidade ambiental, foi o que motivou este trabalho. Assim como à grande demanda de veículos nas grandes cidades, a necessidade das camadas asfálticas suportarem maiores tensões é cada vez mais necessária. A adição de fibras naturais para modificar asfaltos e dar suporte ao pavimento asfáltico vem se tornando cada vez mais comum.

O objetivo desse trabalho é desenvolvimento de corpos-de-prova de asfalto com resíduo de madeira na qual se aplica um novo método de confecção de corpos-de-prova utilizando materiais ecológicos em asfaltos através de trabalhos feitos no laboratório de ecompositos da engenharia mecânica (UFPA).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O ligante asfáltico utilizado foi o CAP 50/70 (A) produzido pela PETROBRAS em sua refinaria localizada em Fortaleza, Ceará (LUBNOR) foi submetido aos ensaios de viscosidade Saybolt Furol, densidade, ponto de amolecimento, penetração e ponto de fulgor (ver Tabela 1).

Tabela 1 - Características físicas do CAP 50/70 (COELHO, 2009).

Ensaio	Métodos	Resultado
Penetração (0,1mm)	DNER - ME 003/93	58
Viscosidade Saybolt a 160 °C (seg.)	DNER - ME 004/94	92
Massa Específica (g/cm ³)	DNER - ME 193/96	1,03
Ponto de amolecimento (°C)	ABNT - NBR 6560/85	52
Ponto de fulgor (°C)	DNER - ME 148/94	<340

Os agregados, seixo e areia branca de cava, foram extraídos de uma jazida localizada no município de Ourém no Estado do Pará, Brasil. O seixo (S) que passa na peneira de malha quadrada nº 04 e a areia branca (Ab) de cava que passa na peneira nº 40.

As madeiras, do tipo tatajuba (*B. guianensis*) (T) e Jatobá (*Hymenaea sp.*), foram cominuídas através do moinho com almofariz/pistilo motorizado, modelo MA-590, em uma frequência de 6 Hz e tempo de 71 minutos. As madeiras apresentaram granulometria passante na peneira de malha quadrada nº 100.

Misturas betuminosas foram feitas em moldes metálico confeccionado a partir de cálculo da redução do diâmetro do molde de corpos-de-prova convencional Marshall, convencionou-se chamar de mini Marshall para este artigo, devido a semelhança dos mesmos com os corpos-de-prova confeccionados segundo a norma DNER-ME 043/95, misturas betuminosas a quente, ensaio Marshall. Em Figura 1, os moldes metálicos de corpos-de-prova.

Figura 1 – Mini Marshal, Compactador (A) e Moldes (B)

Foram obtidas as seguintes dosagens (D) equivalentes a 20g de amostra total dividido em percentagens de material, como mostra a Tabela 2. A mistura betuminosa foi feita seguindo a norma DNER-ME 043/95, a temperatura de 180°C. Pré-misturas foram inseridas ao CAP 50/70 via úmida.

Tabela 2 - Dosagem mini Marshall com 3%, 4,5% e 6% de pré-misturas com tatajuba (T) e jatobá (J).

D (%)	$3C^7$	$4,5C^7$	$6C^7$	$3C^{7,5}$	$4,5C^{7,5}$	$6C^{7,5}$	$3C^8$	$4,5C^8$	$6C^8$
S	48,00	47,75	47,00	47,50	47,50	46,75	48,00	47,25	46,50
Ab	42,00	40,75	40,00	41,50	40,50	39,75	41,00	40,25	39,50
A	7,00	7	7,00	7,50	7,50	7,50	8,00	8,00	8,00
T e J	3,00	4,50	6,00	3,00	4,50	6,00	3,00	4,50	6,00

Os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de resistência máxima a compressão radial baseado na norma DNER-ME 043/95, em prensa universal do modelo DL5.000, eletromecânica, microprocessada, com capacidade máxima 5 kN, para a obtenção dos valores de força máxima em Newton versus o deslocamento obtido pelo programa da prensa universal para observação da

deformação total, expressa em milímetros. Na Figura 2, o molde a compressão de tamanho reduzido, baseado na norma DNER-ME 043/95.

Figura 2 – Mini Marshall, molde a compressão radial

A velocidade de ensaio foi de 50 mm/min., para finalização do ensaio foi computado um limite de força de 1.226 N e limite de deslocamento de 18 mm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os agregados constituintes da mistura asfáltica ficaram bem envolvidos pelo ligante, devido a diminuição da granulometria, uma maior percentagem de finos foi absorvida a princípio pelo CAP 50/70. A amostra teve que ser submetida ao calor de 177°C para mistura e confecção das amostras mini Marshall.

Os resultados dos parâmetros de estabilidade mini Marshall, resistência máxima à compressão radial, referente aos corpos-de-prova de tatajuba (Figura 3A) e jatobá (Figura 3B); e fluência dos corpos-de-prova, que corresponde à deformação total apresentada pelo corpo-de-prova desde a aplicação da carga inicial nula até a aplicação da carga máxima, de tatajuba (Figura 4A) e jatobá (figura 4B).

Figura 3 – Estabilidade Mini Marshall de madeira tatajuba (A) e jatobá (B)

Nos gráficos da Figura 3A, quanto menor a porcentagem de CAP 50/70 nas porcentagens de madeira tatajuba na mistura, maior é maior resistência. No gráfico da Figura 3B, houve um comportamento melhor a 4,5% de CAP 50/70 nas porcentagens de madeira jatoba na mistura, onde podemos encontrar maior resistência dos compostos.

Figura 4 – Fluência Mini Marshall de madeira tatajuba (A) e jatobá (B)

Em corpos-de-prova mini Marshall, a fluência corresponde à deformação total do corpo-de-prova até os valores de resistência máxima a compressão, porém os valores de fluência não possuem alguma relação aos valores de resistência máxima, pode-se observar na Figura 4, depende muito mais da mistura ligante/agregados e do controle da compactação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O composto de madeiras inseridas no ligante asfáltico CAP 50/70 auxilia no acréscimo de resistência a compressão entre os corpos-de-prova analisados.

O método de confecção de corpos-de-prova em escala reduzida é prático, facilita e acelera a obtenção dos mesmos em laboratório; em comparação ao método Marshall convencional (DNER-ME 043/95); desta forma, obtém-se resultados de resistência à compressão de forma mais rápida.

A utilização do resíduo de madeira tatajuba e jatobá são importantes para mitigar impactos ocasionados ao ambiente e uma alternativa de aplicação de materiais pós-consumo em asfaltos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio dos que trabalham no laboratório de eco-compósitos da engenharia Mecânica na UFPA e do laboratório de asfalto da UFPA.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-HADIDY, A.I.; -QIU, T.Y. Effect of polyethylene on life of flexible pavements. *Construction and Building Materials*, v.23, n.3, p. 1456–1464, 2009b.

AL-HADIDY, A.I.; -QIU, T.Y. Mechanistic analysis of ST and SBS-modified flexible pavements. *Construction and Building Materials*, v.23, n.8, p. 2941–2950, 2009a.

COELHO, J.G.M. Estudo da Mistura Betuminosa para a Pavimentação do Aeroporto de Conceição do Araguaia no Estado do Pará. *Anais: IV – Congresso de Pesquisa e Inovação da rede Norte e Nordeste de Educação tecnológica*, Belém, IFPA: 2009.

EVANS, P.; CHOWDHURY, M.J.; MATHEWS, B.; SCHMALZL, K.; AYER, S.; KIGUCHI, M.; KATAOKA, Y. Chapter 14 - Weathering and surface protection of wood. *Handbook of Environmental Degradation of Materials*, p. 277-297, 2005.

GOMES, J.I.; SAMPAIO, S.S. Aproveitamento de Resíduos de Madeira em Três Empresas Madeireiras do Estado do Pará. *Embrapa - Comunicado Técnico* 102, 2004.

MEYER, C. *Concrete as a Green Building Material*. Columbia University. New York: NY, 2005.

Capítulo 6

10.37423/210604362

INFLUÊNCIA DO PROGRAMA DE NIVELAMENTO EM ENGENHARIA NO DESEMPENHO EM QUÍMICA BÁSICA NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

Lucas de Souza Silva

Universidade Federal do Pará

Frank Sales Nunes Brito

Universidade Federal do Pará

Nian Iury Ferrão Queiroz

Universidade Federal do Pará

Raylime Louise Tavares Costa

Universidade Federal do Pará

Elvis Jones Araújo de Almeida

Universidade Federal do Pará

Resumo: A necessidade de engenheiros no Brasil aumentou consideravelmente nos últimos anos, principalmente, nas áreas da construção civil, mineração, indústria petrolífera e automobilística. No entanto, a quantidade desses profissionais que se formam a cada ano não supre essa necessidade, em virtude do alto índice de evasão nos cursos de graduação em engenharia. Ademais, a reprovação nas disciplinas iniciais é um dos fatores que acarretam as desistências, já que a maioria dos que ingressam na universidade não tem uma boa base das disciplinas básicas da engenharia: Física, Química e Matemática. Em razão disso, foi criado, na Universidade Federal do Pará - UFPA, o Programa de Curso de Nivelamento da Aprendizagem (PCNA), que consiste na realização de aulas presenciais e plantões de dúvidas das disciplinas básicas da engenharia. Assim, este artigo tem por objetivo analisar e demonstrar a influência do PCNA na aprovação e melhoramento dos alunos que cursaram o programa durante o ano de 2014, quanto às disciplinas de Química Geral Teórica I, Química Inorgânica Básica e Química Aplicada, fazendo-se, ao final, uma comparação entre os índices de aprovação dos alunos participantes e os não participantes nas referidas disciplinas.

Palavras-chave: Engenharia, PCNA, Química, Aprovação.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, como país emergente, se desenvolve em diversos setores sociais e econômicos, notadamente, no setor da produção científica e tecnológica. O país, cada vez mais, investe em projetos e pesquisas que aprimoram essas áreas (COLENCI JUNIOR *et al*, 2011).

Nesse sentido, o engenheiro é um dos responsáveis pelo avanço dessas áreas estratégicas e, por essa razão, é crescente a oferta de vagas nas universidades nacionais para formação nos cursos de engenharias. Entretanto, a quantidade de profissionais que se formam não supre a necessidade do país, devido ao alto índice de evasão nessas graduações. COLENCI JUNIOR *et al* (2011) estimam que, no Brasil, o número de formados equivalem a 15% do total de estudantes que ingressaram nos cursos. Se o Brasil não começar a formar engenheiros, nas mais diversas áreas, em uma velocidade recorde, o país brevemente irá ter que "importar" esse tipo de profissional de outros países, criando, assim, dependência tecnológica desaconselhável.

Esse déficit de engenheiros em todo cenário nacional, em grande parte é acarretado pela evasão de graduandos, em virtude da reprovação nas disciplinas básicas da engenharia: Física, Química e Matemática. Além de outros fatores como baixa maturidade, falta de dedicação e disciplina por parte dos alunos (SENA *et al*, 2014).

Logo, visando a diminuição das reprovações e, conseqüentemente, a evasão no Instituto de Tecnologia (ITEC) da Universidade Federal do Pará (UFPA), por intermédio da Pró-reitoria de Extensão (PROEX) da UFPA e por meio de sua Diretoria de Assistência e Integração Estudantil (DAIE), foi criado o Programa de Curso de Nivelamento da Aprendizagem (PCNA), cujo objetivo é fortalecer o conhecimento essencial das ciências básicas para o melhor aproveitamento nos cursos de engenharia.

Esse programa, iniciado em 2011, consiste em aulas presenciais e plantões de dúvidas das disciplinas básicas do curso: química elementar, física elementar e matemática elementar. As aulas ocorrem durante três semanas, após o ingresso do aluno na universidade, antecedendo o período letivo regular. As aulas são ministradas por graduandos de semestres mais avançados das engenharias, sendo que o curso ocorre em duas edições, no primeiro e no segundo semestre do ano. Quanto ao plantão de dúvidas, esse se desenvolve no decorrer do período letivo, com o auxílio de alunos-monitores que se disponibilizam a solucionar dúvidas e direcionar o estudo do graduando.

Portanto, o presente trabalho tem como escopo analisar quantitativamente o desempenho dos alunos ingressantes em todos os cursos de engenharias do ITEC/UFPA, que cursaram o PCNA, no segundo

período letivo de 2014, em comparação aos que não cursaram essas disciplinas básicas de química: Química Geral Teórica I, Química Inorgânica Básica e Química Aplicada.

2. METODOLOGIA

Dos doze cursos de graduação em engenharia na UFPA que são atendidos pelo PCNA, nove deles apresentam a disciplina de Química básica que equivale a: Química Inorgânica Básica, Química Aplicada e Química Geral Teórica I, as quais estão apresentados na tabela 1. A coleta de dados dos alunos do ano de 2014 ocorreu através dos diários de classe fornecidos pelos professores que ministram as disciplinas de Química Básica.

Tabela 1– Graduações em engenharia atendidas pelo PCNA

CURSOS		
Eng. Alimentos	Eng. Elétrica	Eng. Sanitária e Ambiental
Eng. Mecânica	Eng. Biomédica	Eng. Química
Eng. Civil	Eng. Naval	Eng. Ferroviária

Para facilitar a análise de dados, dividiram-se os alunos da seguinte forma:

Tabela 2 – Divisão dos alunos para análise de dados

Alunos Ingressantes			
PCNA		Não PCNA	
Aprovados	Reprovados	Aprovados	Reprovados

Onde cada grupo tem as seguintes definições:

- Alunos Ingressantes – Total de alunos que fazem a disciplina pela 1ª vez;
- PCNA – Total de alunos que participaram do nivelamento de Química Elementar antes do início da disciplina de Química Básica;
- Não PCNA – Total de alunos que não participaram do nivelamento de Química Elementar antes do início da disciplina de Química Básica;
- Aprovado – Total de alunos que obtiveram nota igual ou maior à nota mínima exigida para aprovação na disciplina;
- Reprovado – Total de alunos que obtiveram menos que a nota mínima exigida para aprovação disciplina;

2.1. METODOLOGIA DE ANÁLISE DE DESEMPENHO ENTRE ALUNOS INGRESSANTES NO PCNA E NÃO PCNA

A edição do PCNA no ano de 2014, na modalidade de Nivelamento em Química Elementar, teve 411 alunos concluintes. Dos 411 alunos, 204 estavam contidos no grupo da engenharia a ser analisado, e cursaram disciplinas equivalente à Química Básica. Para se observar os efeitos do PCNA no combate à reprovação, utilizou-se a quantidade de alunos aprovados em 2014, sendo que, para calcular as taxas de aprovação e reprovação utilizaram-se todos os alunos ingressantes. A seguir as tabelas 3 e 4 descrevem os valores coletados.

Tabela 3 – Quantidade de Alunos Ingressantes PCNA 2014

Alunos PCNA			
Curso	Aprovados	Reprovados	Aprovação
Alimentos	2	6	25%
Mecânica	21	16	57%
Civil	35	23	64%
Elétrica	21	11	47%
Biomédica	18	1	95%
Naval	7	0	100%
Sanitária	13	1	93%
Química	25	3	86%
Ferrovária	1	0	100%
Total	143	61	70%

Tabela 4 – Quantidade de Alunos Ingressantes Não PCNA 2014

Alunos Não PCNA			
Curso	Aprovados	Reprovados	Aprovação
Alimentos	4	14	22%
Mecânica	9	20	31%
Civil	26	57	31%
Elétrica	25	23	52%
Biomédica	13	7	65%
Naval	7	1	88%
Sanitária	19	21	48%
Química	30	14	68%
Ferrovária	16	6	73%
Total	149	163	48%

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para identificar a eficiência do PCNA na aprovação dos alunos que participam do programa, deve-se analisar a porcentagem de aprovação e reprovação na disciplina de Química Básica.

3.1. COMPARAÇÕES ENTRE ALUNOS PCNA E NÃO PCNA

Os gráficos 1 e 2 a seguir demonstram o desempenho entre todos os alunos ingressantes.

Logo, o índice de aprovação para os alunos PCNA foi significativamente maior do que para os alunos Não PCNA, revelando-se uma diferença de 22% entre os percentuais de aprovação entre os grupos de alunos.

3.1.1. COMPARAÇÕES ENTRE ALUNOS PCNA E NÃO PCNA POR ENGENHARIA

O gráfico 3 demonstra o desempenho de todos os alunos ingressantes por curso.

Gráfico 3 – Percentual de Alunos Ingressantes PCNA e Não PCNA aprovados.

Outra forma de avaliar a influência do programa é analisando cada engenharia separadamente.

A partir dos dados acima se constatou que para cada curso o percentual de aprovação dos alunos foi maior para os que participaram do programa. Destacando-se os alunos PCNA das engenharias Naval e Ferroviária, que obtiveram 100% de êxito na disciplina. Ademais, ainda que a engenharia de alimentos tenha uma diferença de percentual de aprovação pequena entre os grupos de alunos, em todas as nove engenharias os alunos do PCNA tiveram desempenhos melhores na comparação.

4. CONCLUSÃO

Portanto, é possível afirmar que o PCNA influenciou sobremaneira no bom desempenho e no índice de aprovação dos alunos que cursaram as disciplinas de Química Básica, uma vez que as taxas de aprovação dos alunos participantes são maiores que a dos alunos não participantes do PCNA.

Assim, resta evidente que o Programa de Cursos de Nivelamento da Aprendizagem em Ciências Básicas para as Engenharias ocasionou um significativo aumento nas aprovações em Química Básica, dos cursos de engenharia da Universidade Federal do Pará, no ano de 2014, demonstrando-se que o programa é uma medida eficaz para diminuir as reprovações e, conseqüentemente, diminuir a evasão dos alunos de engenharia da UFPA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADUATI, M.E.F; SANTOS, H.N; SANTOS, F.F. Evasão no ensino superior: análise quantitativa dos cursos de engenharia civil, elétrica e mecânica da Universidade Federal do Pampa- XXVI Congresso regional de iniciação científica e tecnológica em engenharia – CRICTE 2014. Alegrete - RS – Brasil

SENA, T; SILVA, L; NASCIMENTO, S. Eficácia do programa de nivelamento em química para engenharias da Universidade Federal do Pará – Cobenge 2014 – Juiz de Fora – MG - Brasil

JUNIOR, A.C; PALLADINO, A.A; BORGES, E.S; TREVELIN, A. A falta de engenheiros, o desenvolvimento econômico e a educação no Brasil – XXXIX Congresso brasileiro de educação em engenharia – Cobenge 2011 – Blumenau – SC – Brasil

Capítulo 7

10.37423/210604365

A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO NOS ESTUDOS PARA O ALUNO DE ENGENHARIA - OFAPE (OFICINA DE APOIO AOS ESTUDOS)

Miguel Angel Chincaro Bernuy

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rosângela Borges Pimenta

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Luciana Carneiro Hernandez

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Lucas Rosalin Chaves de Sousa

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jhonatan Felipe Pereira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Pedro Paulo Nogueroi Odorizzi

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Resumo: Os estudantes de engenharia são continuamente desafiados a trabalhar com mais conhecimentos tecnológicos e atividades extracurriculares. Esta sobrecarga traz efeitos conhecidos, tais como a retenção e evasão. Para tal contexto, é relevante que existam ações de autorregulação, que auxiliem os estudantes tanto ao planejamento acadêmico quanto ao planejamento da sua rotina pessoal. A autonomia precisa ser potencializada nos contextos das disciplinas e em todos os espaços disponíveis, pois a autogestão dos próprios recursos lhes dão mais condições de reorganizar conscientemente a trajetória acadêmica e profissional. Com esta perspectiva, este trabalho apresenta um conjunto de estratégias na forma de oficinas, que foram organizadas por um grupo de estudos e aplicadas por estudantes para estudantes. Entre os principais resultados obtidos, pode-se observar que os participantes praticaram várias técnicas no decorrer das oficinas e tiveram uma mudança significativa na forma de organização para os estudos. Outro aspecto importante foi a mudança nos estudantes que aplicaram as oficinas, quanto ao desenvolvimento das habilidades de comunicação e liderança.

Palavras-chave: Autorregulação. Planejamento de Estudos. Aprendizagem.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, fatores como fracasso escolar, repetência e evasão estão presentes na maioria dos contextos escolares, causando grande preocupação aos educadores (SIMÃO *et al*, 2015). O baixo rendimento acadêmico é resultante de inúmeros fatores que atingem os estudantes universitários. Um deles é a forma de organizar e se preparar para os estudos. A grande maioria não consegue obter um bom resultado nas avaliações por não saber como se preparar. Segundo o MEC (1996), um dos fatores característicos individuais dos estudantes de graduação, referente à evasão, está relacionado às habilidades de estudo. A constatação desta insuficiência aponta a necessidade de um maior preparo, para que não ocorram as dependências nas disciplinas e, conseqüentemente, uma possível desistência do curso. O desempenho acadêmico exerce um papel fundamental na relação do aluno com a universidade e com a escolha de sua carreira. Quando insatisfatório, pode levar o estudante à desmotivação, bem como gerar insegurança com relação às suas competências. (BARDAGI E HUTZ, 2012). Com base neste cenário, o aporte teórico desta pesquisa está centrado nos construtos da autorregulação e das técnicas de estudo.

A autorregulação relaciona-se à competência dos estudantes quanto à proatividade durante a aprendizagem e ao controle de “seus processos cognitivos, metacognitivos e motivacionais”, a fim de “adquirirem, organizarem e transformarem as informações adquiridas ao longo do tempo” (FREIRE, 2009, p.276). A aprendizagem autorregulada inclui três fases diferentes: 1) estabelecimento e planejamento de metas antes de estudar; 2) uso de estratégias diferentes; monitoramento e controle da aprendizagem como um estudo; e 3) reflexão sobre a aprendizagem após o estudo (ZIMMERMAN e SCHUNK, 2012).

Muitos estudos apontam a autorregulação da aprendizagem como conceito fundamental no processo de construção de conhecimento por considerar “o indivíduo como um sujeito que atua e sofre influências de diferentes dimensões, como ambientais, pessoais e comportamentais” (BASSO; ABRAHÃO, 2017). Ao proporcionar uma aprendizagem mais autônoma e ativa, em que o aluno consegue mobilizar os conhecimentos apreendidos e criar estratégias para enfrentar as diversas situações a ele apresentadas, a autorregulação é considerada como força motriz para o aprendizado profundo e longo, “ao longo de toda a vida” (COSNEFROY, 2013 apud BASSO; ABRAHÃO, 2017).

Esse processo, bastante dinâmico, permite que o estudante gerencie “os sistemas de planejamento, organização, controle e avaliação dos processos adotados, os resultados atingidos e as variáveis contextuais” (SILVA; VEIGA SIMÃO, 2016 apud BASSO; ABRAHÃO, 2017) e envolve a interação de

múltiplas variáveis como conhecimento, competência e motivação, aspectos bastante relacionados ao processo de autorreflexão.

Inerentes à autorregulação da aprendizagem, a definição dos objetivos e o gerenciamento do tempo são considerados por muitos autores como imprescindíveis para que o estudo se dê de maneira mais autônoma e proativa (COSNEFROY, 2013; FRISON; VEIGA SIMÃO, 2011 apud BASSO; ABRAHÃO, 2017). Também integram o processo autorregulatório a seleção de estratégias adequadas para a execução dos objetivos, a revisão sistemática dos mesmos e os redirecionamentos necessários, ou seja, “existe um caráter fundamentalmente voluntário e intencional subjacente a esse conceito” (FREIRE, 2009, p.280).

Uma pesquisa sobre competências de estudo, realizada com 126 universitários da área de ciências exatas, identificou que os estudantes autorregulam seus estudos utilizando mais estratégias voltadas a ações, tais como: anotações em aula, leituras adicionais e exercícios, e menos em relação a estratégias metacognitivas voltadas a aprender como aprender.(JOLY et al, 2015). Esta problemática ocupa lugar de destaque na reforma do ensino superior, pois é fundamental que os estudantes tenham êxito na universidade, com foco na busca de estratégias educativas que os auxiliem nos estudos e com o seu desenvolvimento na transição para a vida adulta (MAGALHÃES,2012).

Paralelamente à autorregulação, temos a prática como “o maior aliado para o aperfeiçoamento da aprendizagem acadêmica” e os projetos de extensão como fator bastante relevante para “aprimorar o conhecimento adquirido ao longo da graduação, além de melhorar a autoconfiança, proporcionar o conhecimento profissional na área escolhida, melhorando o currículo e aumentando as chances para o mercado de trabalho” (DESLANDES; ARANTES, 2017, p.181).

Assim, tendo em vista a necessidade do “ensino de estratégias que permitam enfrentar os imprevistos, o inesperado e a incerteza, modificando seu desenvolvimento, em virtude das informações adquiridas ao longo do tempo” (MORIN, 2001 apud FREIRE, 2009, p.277) para que a autorregulação da aprendizagem se efetive, discentes da graduação da UTFPR-CP propuseram a realização de oficinas que propiciassem o desenvolvimento das competências autorregulatórias em si mesmos e em outros discentes.

O objetivo do presente artigo é relatar a experiência da realização de Oficinas de Apoio aos Estudos (OFAPE), desenvolvidas junto a graduandos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio. Tal proposta se inseriu no âmbito do Grupo de Estudos sobre Metodologias Aplicadas às Engenharias, mediante aprovação do Edital Protagonismo Estudantil. A primeira etapa

deste projeto, que teve início em 2019, consistiu em uma pesquisa sobre os fatores críticos do rendimento acadêmico na formação universitária. As técnicas de estudo serão aqui apresentadas, como forma de autorregulação, juntamente com discussões e considerações acerca dessa experiência de intervenção no contexto acadêmico.

2 TÉCNICAS DE ESTUDO

Esta seção tem por propósito apresentar a fundamentação da pesquisa feita para a escolha das metodologias que seriam abordadas nas oficinas. Deste modo, buscaram-se no campo do conhecimento as principais referências na definição de conceitos, bem como a aplicação das metodologias de aprendizagem.

No decorrer das oficinas foram utilizados dez métodos, alguns dos quais validados historicamente (Resumos, Listas de Exercícios, Teste Prático e Anotações em Sala) e outros mais contemporâneos, descritos abaixo.

2.1 MAPA MENTAL

O mapa mental foi desenvolvido na década de 1970 pelo psicólogo inglês Tony Buzan (BUZAN, 2005), que queria aperfeiçoar as etapas de aprendizagem e memorização. Seu estudo levou a um método que tentava simular a forma com que o cérebro humano trabalha e armazena informações nos neurônios, como uma árvore que tem um caule principal e, a partir dele, várias ramificações – o princípio dos mapas mentais, nos quais uma ideia central decompõe-se em ramificações e interligações. Os mapas mentais hierarquizam as informações, tornando-as mais fáceis para a sua identificação e classificação. “É uma técnica de registro visual e conceitual de informações” (HERMANN e BOVO, 2006 p.91).

Passos para a utilização da técnica

Para a criação de um Mapa Mental (MM), Tony Buzan desenvolveu sete passos para a sua elaboração. Sintetizando as etapas de Buzan temos que: os Mapas Mentais devem começar no centro de uma folha de papel em branco na horizontal, recomenda-se utilizar imagens ou figuras sempre que puder como ideia central acompanhadas de cores em todo o processo. Após colocado o assunto principal do MM precisa-se ligar os ramos principais, secundários e terciários sempre obedecendo uma ordem de prioridade. Buzan ressalta que todas os ramos devem ser curvos e não em linha reta tendo em vista

que ramos curvos são mais atraentes e estimulante para o cérebro e para termos uma eficácia sempre utilizar palavras-chaves que serão desencadeadoras de associações e conexões.

2.2 POMODORO

A técnica Pomodoro foi criada na década de 1980 pelo italiano Francesco Cirillo (CIRILLO, 2006). Criada com o intuito de aumentar a produtividade dos estudos a partir da gestão do tempo, quando Francesco estava no primeiro ano da universidade. A priori, para a execução da técnica, foi utilizado um timer de cozinha em forma de tomate – pomodoro, em italiano – instrumento prosaico que nomeou o método.

PASSOS PARA A UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA

A técnica Pomodoro consiste em um método para aprimorar a gestão de tempo, em que dividimos o ato do estudo em intervalos de 25 minutos focando completamente em ler o conteúdo, realizar atividades e afins e outro intervalo de 5 minutos para descanso. Dessa forma, o estudante começa a realizar seu estudo de uma maneira menos cansativa e consegue gerar um maior foco na hora de estudar.

2.3 EPL2R

A técnica EPL2R, conhecida em inglês por SQ3R ou também como método Robinson (BECK, 2020), foi criada na década de 1946 pelo psicólogo educacional Francis Pleasant Robinson, com o intuito de se desenvolver um maior aproveitamento no momento de estudos. Para tanto, Robinson propõe que se divida o ato de estudar em 5 etapas.

Passos para a utilização da técnica

O método de estudo pela técnica EPL2R consiste em dividir o estudo em cinco etapas. O primeiro é da “Exploração”: neste momento o estudante deve ler o seu material de forma superficial, para que, desta forma, possa estar realizando a segunda etapa que é “Perguntar”, neste momento a partir da primeira leitura o praticante deve formular perguntas com relação ao conteúdo lido, assim na terceira etapa que é uma leitura ativa, o estudante deverá sanar as perguntas e questionamentos que foram criados. A quarta etapa, “Rememorar” consiste em escrever o conteúdo aprendido, gerando assim uma memória de longo prazo, podendo utilizar por exemplo mapas mentais e resumos do conteúdo. A última etapa, “Repassar”, consiste em transmitir o conhecimento adquirido para outras pessoas.

2.4 AULA INVERTIDA

A metodologia Aula Invertida foi criada entre os anos de 2007 e 2008, na Wooddland Park High School, Colorado, Estados Unidos, pelos professores de química Jonatham Bergmann e Aaron Sams (FERRARINI, 2019, p.19). O intuito foi que os alunos pudessem aprender em seu próprio ritmo. Vale ressaltar, que a metodologia foi adaptada pelo grupo para ser utilizada voluntariamente, sem o auxílio de um professor.

Passos para a utilização da técnica

A sala de aula invertida é uma nova forma de promover a aprendizagem, em que o aluno é ativo neste processo. O estudante estuda antes da aula e a aula se torna um lugar de aprendizagem ativa, onde há perguntas, discussões e atividades práticas.

Os estudantes levarão para os momentos de aula presencial suas impressões, dúvidas e experiências, ganhando assim, um tempo com o professor para auxiliá-lo. Além disso, o aluno tem condição de estudar de acordo com seu ritmo de produtividade com essa técnica, pois, ele sempre estará adiantado no conteúdo.

Para obter resultados de aprendizagem mais significativos é importante realizar a combinação de várias atividades: leitura, demonstração, discussão, prática e ensino da matéria aprendida para outras pessoas. Contudo, o fato de já ter estudado a matéria, antes dela ter sido dada na aula presencial, despertará um interesse maior nas aulas presenciais para tirar dúvidas, então o tempo na sala de aula também será bem utilizado.

Sendo assim, atividades ativas, a exemplo da sala de aula invertida, têm o poder de tornar o ensino um processo completo e mais motivador em que o aluno observa uma razão para a aplicação dos conhecimentos e, com isso, consegue reter uma quantidade muito mais significativa de informação e aumentar seu desempenho nos estudos.

2.5 TESTE PRÁTICO

O estudo de Lilienfeld (LILIENFED, 2000) descobriu que o Teste Prático é duas vezes mais eficiente que qualquer outra técnica de estudo. Pode-se afirmar que é uma das melhores técnicas de aprendizagem.

Passos para a utilização da técnica

Os psicólogos responsáveis pela pesquisa apontam que a qualidade dessa técnica se deve aos vários formatos possíveis de aplicação: questões de múltipla escolha, testes do tipo preencha a lacuna”,

questões assertivas. Ao final de cada conteúdo, são feitos os testes práticos para exercitar aquilo que acabou de estudar. Quanto mais testes e exercícios forem resolvidos, mais eficácia terá a técnica.

3 PROCESSO DE ORGANIZAÇÃO DAS OFICINAS

O contexto de partida para a criação das oficinas foi a percepção que o rendimento dos estudantes estava comprometido, observando os indicadores de retenção e evasão na UTFPR-CP. Segundo dados do Departamento de Educação, para um curso a retenção total de estudantes cresceu até 20,6% e a retenção parcial cresceu até 54,8% (DEPED-CP, 2019).

Na perspectiva de amenizar essa situação, o Grupo de Estudos sobre Metodologias Aplicadas às Engenharias começou a pesquisar técnicas que, otimizando o aprendizado do alunado via organização de tempo e modo, poderiam incentivar os discentes a seguir construindo conhecimentos na universidade.

Assim, foram estudados artigos científicos e analisadas diversas técnicas de estudo, entre outros materiais indicados pelos orientadores. Considerando a efetividade e a facilidade de execução de cada técnica, o grupo selecionou as que poderiam ser mais bem recebidas pelos estudantes, tais como: EPL2R, Pomodoro, Teste Prático, Aula Invertida, Mapas Mentais, Anotações em Aula, Resumos, Listas de Exercícios, Estudo Diário e Otimização de Tempo.

Com a decisão de ofertar aos discentes uma possibilidade de escolha entre as várias técnicas que agregariam a esperada produtividade nos estudos, o grupo buscou a melhor maneira de apresentá-las, elaborando o material para as oficinas, planejando o formato do curso, escolhendo o que seria utilizado a cada dia.

Sistematizado o material – com conceito das técnicas, formulários, textos para aplicação, rodas de conversa, exposição de ideias e dinâmicas – foram realizados testes, nos quais os estudantes ministrantes apresentaram as aulas elaboradas para os orientadores, a fim de realizar os ajustes necessários depois dos feedbacks recebidos.

Por fim, com o cronograma pronto, prevendo os encontros semanais, teve início a divulgação das oficinas para os alunos da universidade, por e-mail e a realização das inscrições via *Google Forms*. As oficinas contemplaram, ao todo, sete semanas, sendo um dia de abertura e um dia de encerramento; cinco dias foram utilizados para apresentação dessas técnicas, incluindo também uma aula de organização e planejamento. Cada oficina teve a duração de 1 hora.

3.1 DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES DAS OFICINAS

A rotina de desenvolvimento das atividades das oficinas foi realizada de duas maneiras. Inicialmente, por meio de reuniões presenciais e, em seguida, por meio de reuniões remotas mediante programas de comunicação síncrona (Skype e Meet).

Durante as reuniões, além das revisões de conteúdo e formatação, foram observados dois aspectos que permitiram a construção do conhecimento de forma prática, ou seja, o primeiro aspecto a acessibilidade dos conceitos envolvidos e suas etapas correspondentes, e o segundo aspecto a aplicação das técnicas.

4 REALIZAÇÃO DAS OFICINAS

A Oficina de Apoio aos Estudos (OFAPE) está lançando sua terceira edição. Em um primeiro momento, a mesma foi desenvolvida de forma presencial, com alunos em sala; e, a partir da segunda, realizada remotamente, de forma totalmente virtual devido à nova situação ocasionada pelo isolamento social decorrente da pandemia da COVID19.

Em síntese, no diagrama da Figura 1 estão representadas as principais realizações de cada dia.

Figura 1 – Representação de cada dia da Oficina com suas respectivas ações.

Fonte: Autores, 2020.

No primeiro dia, os participantes das Oficinas preencheram uma ficha diagnóstica para coleta de dados no que tange às Técnicas de Estudo e ao conhecimento que os alunos tinham sobre esse assunto.

Também foram introduzidos conceitos sobre formas de estudo não mais centradas somente no professor e em aulas expositivas.

Na outra semana, foi discutida a maneira pela qual os estudantes aprenderiam de forma mais efetiva nesta nova era digital, pois é de extrema importância o entendimento de todo o processo de aprendizado e assimilação de conteúdo pelo funcionamento do cérebro humano. Em seguida, foram apresentados possíveis meios para otimizar e construir um tempo realmente de qualidade para o estudo.

Nas demais semanas foram apresentadas várias técnicas de estudo e suas respectivas formas de aplicação. Logo depois da explanação das técnicas, os alunos foram encorajados a colocarem cada uma em prática para perceberem a melhora gradativa no rendimento acadêmico. Vale ressaltar que toda a oficina foi moldada para atender ao novo cenário em que os alunos e professores estão inseridos.

No último encontro foi entregue a mesma ficha diagnóstica do primeiro dia para que os alunos revisassem os próprios relatos e, depois do contato com todas as técnicas e com a aplicação das mesmas, refletissem sobre o rendimento acadêmico e o conhecimento construído nos dois meses de contato com a OFAPE, sendo possível a eficácia da oficina e das metodologias ativas de aprendizagem para as Engenharias.

5 ANÁLISE DOS DADOS

O Gráfico 1 mostra as porcentagens de alguns dados coletados pelo questionário antes e depois de serem aplicadas as técnicas de estudo, para a otimização do tempo e o entendimento do processo de aprendizagem. Mediante estes dados, fica evidente que se obteve uma melhora significativa no rendimento acadêmico somente participando das oficinas e aplicando as técnicas de estudo apresentadas, visto que 32,3% dos participantes alegaram que não tinham uma rotina de estudo, 44,5% relataram que não possuíam nenhuma forma de planejamento para a vida acadêmica e 34% declaram que a sua forma de estudo não atendia as suas necessidades acadêmicas. E logo depois das oficinas serem ministradas, esses dados caíram de maneira satisfatória para 24,3%, 3% e 5,8%, respectivamente, consolidando o objetivo da criação da oficina que, por meio de recursos de aprendizagem, pode-se obter uma ascensão na produtividade acadêmica.

Outro dado interessante para destaque é a disseminação e aplicação das metodologias de ensino, como é mostrado no Gráfico 1. Somente 32,3% já conheciam e utilizavam as mesmas e este número cresceu para 50,3% mostrando novamente uma eficácia da técnica.

Gráfico 1 – Dados antes e depois da oficina sobre o modo de estudar

Fonte: Autores, 2020

Por intermédio do Gráfico 2, percebe-se que a oficina teve impacto na forma de estudo dos participantes, pois 63,9% afirmam que ocorreram mudanças em sua forma de aprender e 100% passaram a considerar um plano de estudo como algo relevante na hora de estudar, dentre os quais 69,4% consideraram muito relevante a aplicação de um esquema de aprendizagem.

Gráfico 2 – Representação de cada dia da Oficina com suas respectivas ações.

Fonte: Autores, 2020

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se considerar que os objetivos esperados foram atingidos, pois a maioria dos alunos, mais de 60%, afirmam que ao término da oficina ocorreram mudanças em sua forma de estudar. Portanto, é notório o fato de que as oficinas impactaram positivamente a rotina de estudo dos participantes.

Espera-se que, com futuras aplicações da oficina, um número maior de alunos seja atingido e que, com aplicação das técnicas para otimização dos estudos sendo aplicada em larga escala, os índices de evasão e retenção sejam minimizados.

A realização das oficinas trouxe benefícios não apenas para os alunos participantes, mas também para os responsáveis pelo seu desenvolvimento. Melhorias na oratória, no desenvolvimento de habilidades de comunicação, na destreza para a confecção de materiais para as aulas, dentre outras, são algumas das capacidades e habilidades desenvolvidas pelos estudantes que ministraram as aulas. Portanto, o aprendizado neste caso ocorreu como uma via de mão dupla, em que todos os envolvidos receberam algo para alavancar suas carreiras.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento de diversas atividades apresentadas neste trabalho, por meio de um Projeto de Ensino Homologado em Edital da DIRGRAD-CP.

REFERÊNCIAS

BARDAGI, M. P.e HUTZ, C. S. Mercado de trabalho, desempenho acadêmico e o impacto sobre a satisfação universitária. *Revista de Ciências Humanas*, 46(1), 183-198. doi:10.5007/2178-4582.2012v46n1, 2012.

BASSO, Fabiane P.; ABRAHÃO, Maria Helena M. B. Autorregulação da aprendizagem em contexto escolar: uma abordagem baseada em Ateliês Biográficos de Projetos. *Educar em Revista*, Curitiba, Brasil, Edição Especial n. 1, p. 171-189, jun. 2017. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010440602017000500171&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 27 jul. 2020.

BECK, Caio. Método de Leitura SQ3R. *Andragogia Brasil*, 2018 Disponível em: <https://andragogiabrasil.com.br/metodo-de-leitura-sq3r/>. Acesso em 27 jul. 2020.

BUZAN, Tony. Mapas Mentais e sua Elaboração: um sistema definitivo de pensamento que transformará a sua vida. São Paulo: Cultrix, 2005. Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=IBC4bNHiWYgC&oi=fnd&pg=PA40&dq=histórico+dos+mapas+mentais+&ots=WH4svj3q33&sig=ZqZpUWC19OgmsXSq9DuVKn0ryrQ#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 23 jul. 2020.

CIRILLO, Francesco. The Pomodoro Technique. San Francisco Califórnia: Creative Commons, 2006. Disponível em:

https://lasolutionestenvous.com/wp-content/uploads/2014/04/ThePomodoroTechnique_v1-3.pdf. Acesso em: 27 jul. 2020.

DEPED-CP, Seminários de Projetos Pedagógicos - NDE Engenharia Elétrica da UTFPR, Cornélio Procópio, 2019. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1xsbk1eWif2f0jXvJeT-CgZ_-OluJTs52/view?usp=sharing. Acesso em: 27 jul. 2020.

DESLANDES, Maria S. S.; ARANTES, Álisson R. A extensão universitária como meio de transformação social e profissional. *Sinapse Múltipla*, 6(2), dez., 179-183, 2017. Disponível em:

<http://periodicos.pucminas.br/index.php/sinapsemultipla>. Acesso em: 27 jul. 2020.

DULOSKY, John et all. Improving Students' Learning With Effective Learning Techniques: Promising Directions From Cognitive and Educational Psychology. *Sage Journal*, volume 14, 08 jan. 2013, p 4-58. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/https://doi.org/10.1177/1529100612453266>. Acesso em: 27 jul. 2020.

FERRARINI, Rosilei; SAHEB, Daniele; TORRES, Patricia Lupion. Metodologias ativas e tecnologias digitais: aproximações e distinções. *Revista Educação em Questão*, Natal, v. 57, n. 52, p. 1-30, e- 15762, abr./jun. 2019.

FREIRE, Luiz Gustavo Lima. Auto-regulação da aprendizagem. *Ciência & Cognição*, Rio de Janeiro , v. 14, n. 2, p. 276-286, jul. 2009. Disponível em:

http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-58212009000200019. Acesso em: 20 jul. 2020.

JOLY, Maria Cristina Rodrigues Azevedo *et al.* Competência de estudo para uma amostra universitária da área de exatas. *Psicologia Escolar e Educacional*, Maringá v.19, n.1, 23-29, Jan./Apr.,2015.

HERMANN,W.;BOVO,V.Mapas mentais: enriquecendo inteligências:

captação,seleção,organização,síntese, criação e gerenciamento de informação.

2 ed.Campinas:Walther Hermann& Viviani Bovo, 2005.

LILIENFELD, Scott O.; WOOD, James M.; GARB, Howard N. The scientific status of projective techniques. *Psychological science in the public interest*, v. 1, n. 2, p. 27-66, 2000.

MAGALHÃES, Cleidilene Ramos. A autorregulação da aprendizagem em Programa Institucional de Acolhimento e Suporte ao aluno universitário: os professores como parceiros. *Pelotas*, vol 42 : 143 - 167, maio/junho/julho/agosto, 2012.

MEC. Diplomação, retenção e evasão nos cursos de graduação em instituições de ensino superior públicas. Avaliação: Revista de rede de avaliação institucional da educação superior.

Campinas, v. 1, n. 2, p. 55-65, dez. 1996.

SIMÃO, Ana Margarida da Veiga.; FRISON, Lourdes Maria Bragagnolo.; NONTICURI, Amélia Rodrigues. Dos significados à autorregulação: perspectivas de estudantes com trajetórias acadêmicas de insucesso. *Revista de Estudios e Investigación em Psicología Y Educación*,v.n 1,2015.

ZIMMERMANN, Barry, J.; SCHUNK, Dale, H. Motivation: An essential dimension of self-regulated learning. (Eds.).*Motivation and self-regulated learning. Theory, research and applications*, Routledge, pp.1-30, New York, 2012.

Capítulo 8

10.37423/210704434

O PLANO DE EMERGÊNCIA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO DO CENTRO DE TECNOLOGIA

Paul Richard Marques Acurcio

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Luã Francisco Rangel Carneiro

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Wesley Lopes de Oliveira Martins

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Vitor Menezes Moura

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Roberto Machado Corrêa

Universidade Federal do Rio de Janeiro

INTRODUÇÃO

Ao longo da história da UFRJ ocorreram incêndios de grandes proporções e explosões em diversos prédios da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como no Palácio Universitário, Prédio da Reitoria, Centro de Tecnologia e recentemente o Museu Nacional.

Para proteger a população de um edifício em chamas não bastam equipamentos de combate a incêndio, há de se dispor de uma brigada de bombeiros civis que conduza a população do edifício a percorrer rotas de escape com segurança, evacuando o prédio, e iniciar as medidas de combate a incêndio.

Para viabilizar a atuação da brigada de incêndio, que inclui a contratação de bombeiros civis e treinamento da brigada voluntária, é necessário elaborar as plantas de emergência que fazem parte do plano de emergência contra incêndio e pânico (PECIP).

Essas plantas apresentam as localizações dos equipamentos fixos e móveis de combate a incêndio, a rota de fuga e o ponto de encontro numa área de até 1000 m².

No dia 16/01/2019 foi realizada reunião em que esteve presente representantes da Pró-Reitoria de Gestão e Governança (PR6), Pró-Reitoria de Finanças (PR3) e Centro de Tecnologia, para discutir a continuidade de um processo referente à contratação de bombeiros civis para o Centro de Tecnologia (CT), Centro de Ciências da Saúde (CCS), Laboratório de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico (LADETEC) e Museu Nacional, além de fazer uma projeção do custo de contratação para toda a UFRJ.

Foi formada uma comissão com representantes da PR6, PR3, CT, CCS e Instituto de Química a fim de revisar os documentos já desenvolvidos e adequá-los às novas exigências de instruções normativas e outras legislações vigentes. Paralelo a isso, o projeto de segurança contra incêndio e pânico (SCIP) dos blocos A ao I do Centro de tecnologia estava sendo elaborado com base nas novas Notas Técnicas do Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico (COSCIP) e nas Normas Técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Como o Centro de Tecnologia apresenta nove blocos extensos que variam de dois a sete pavimentos, foram elaboradas diversas plantas de emergência com base nas plantas de rota de fuga, equipamentos de combate a incêndio e de alarme e detecção do projeto de SCIP.

A verificação inicial da classificação dos blocos e facilidades específicas foi o primeiro passo para remodelar as plantas de incêndio. Majoritariamente, os blocos do Centro de Tecnologia se enquadram

como Risco Médio I: espaços escolares em geral; espaço com objetos de valor inestimável (museu e arquivo interno); auditórios; e local para refeição (bandeirão). Apenas alguns laboratórios do Instituto de Química foram tratados como Risco Médio II devido ao armazenamento de incendiários mais poderosos. As áreas, portanto, já existentes somado às modificações previstas mais a frente discernem as regras utilizadas na revisão.

PLANTAS DE EMERGÊNCIA

A elaboração das plantas de emergência iniciou-se com a revisão e atualização das plantas arquitetônicas e de rota de fuga do Centro de Tecnologia, com a correção de elementos construtivos que não condizem com a realidade da edificação. Um caso recorrente foi a adequação das rotas de fuga com as plantas humanizadas, visto que vários ambientes sofrem mudanças constantes de organização e a desobstrução das saídas de emergência é essencial para a segurança.

Após a finalização das plantas de rota de fuga, iniciou-se a checagem dos equipamentos de combate a incêndio, sinalização e iluminação de emergência já existentes nos ambientes e a adequação às exigências normativas recentes, com o devido posicionamento e quantificação nas dependências do Centro de Tecnologia.

SISTEMA DE DETECÇÃO E ALARME

Visando a otimização do tempo de resposta em situações de emergência, foi projetado um sistema de detecção endereçável, com dispositivos capazes de identificar a presença de fumaça e, de forma automática, acionar os avisadores sonoros e visuais. Tal sistema foi dimensionado de modo a permitir também o disparo dos alarmes através da utilização de acionadores manuais e, após a utilização de algum dos dispositivos do sistema, a brigada de incêndio localizada no bloco I do Centro de Tecnologia (CT) é informada sobre o local exato da ocorrência para que haja o menor tempo possível de reação.

O projeto do sistema de detecção e alarme foi realizado com base nas plantas arquitetônicas do CT, sendo posicionado pelo menos um dispositivo de detecção em cada ambiente fechado, locais com grandes áreas ou maiores obstruções receberam detectores em quantidades compatíveis com o raio de ação dos mesmos. Os acionadores manuais e avisadores sonoros e visuais foram dispostos de maneira estratégica ao longo das rotas de fuga e no interior dos departamentos devido ao quantitativo de compartimentações desses ambientes. O número de equipamentos em cada local foi pensado com base em experiências prévias de ocorrências na edificação, além das recomendações normativas e notas técnicas.

RESERVA TÉCNICA DE INCÊNDIO

Posteriormente, foi feita a adição de uma reserva técnica de incêndio que contribuirá para todos os blocos do CT. A ideia é partir de cisternas específicas para o combate localizadas entre os blocos, onde o volume total armazenado cobriria o necessário para incêndios desde o bloco B ao bloco I. O sistema seria unificado e interligado de modo que as vazões sejam respectivas à demanda de cada bloco com bombas nos entre blocos.

Como os mangotinhos originalmente projetados eram insuficientes para a revisão das normas da CBMERJ, por conseguinte, houve a adição de outro hidrante intermediário nos blocos.

Com uma reserva já construída, o bloco A não teve nenhuma adição de volume de incêndio na revisão, apenas uma possibilidade de separação do volume de abastecimento.

Houveram hidrantes adicionados a todos corredores de modo a alcançar todas as salas com mangotinhos determinados pelas normas, além de um projeto básico de sistema de sprinklers nos andares mais altos do edifício. Todo o projeto de plantas deste bloco foi tratado separadamente do restante do CT pela maior complexidade de informações.

Finalmente, a entrada d'água do conjunto passa pelos fundos do bloco A e agora prevê abastecimento das reservas existentes e das adicionais entre blocos.

CASA DE GERADORES

Somado a isso, o bloco A possuía uma casa de geradores de energia situada no 6º andar próximo a casa de máquinas e alocado em um pavimento do Instituto de Química onde há constantes procedimentos de estudos com produtos químicos e produtos altamente inflamáveis, portanto o armazenamento do combustível utilizado pelos geradores colocava em risco não só a estrutura e a preservação dos equipamentos de estudos mas como a vida dos próprios estudantes e docentes. Para tal feito, essa concepção se baseou na construção de um novo projeto para a reformulação de uma nova casa de geradores situada em um local por onde passam as entradas de energia no próprio Centro de Tecnologia para que não houvesse risco às estruturas do edifício nem às pessoas que trabalham e estudam no mesmo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de possuir equipamentos de combate a incêndio, todo o SCIP do Centro de Tecnologia precisou ser revisado e atualizado para garantir a segurança do patrimônio e das pessoas que frequentam suas

dependências no dia a dia. O plano de combate a incêndio deve ser regularmente atualizado, e os equipamentos de combate e sinalização precisam ser testados e revisados periodicamente, a falta de manutenção se mostrou um dos principais problemas no Plano de combate a incêndio, não apenas do Centro de Tecnologia, mas também de outros prédios da UFRJ, portanto a implementação do projeto não pode ser considerada como a etapa final para a conclusão do SCIP, para evitar que incêndios atinjam as dependências da UFRJ novamente é necessário realizar regularmente a revisão, manutenção e atualização dos equipamentos e o treinamento da brigada.

CONCLUSÃO

A construção desse projeto acadêmico nos permitiu ter um contato mais real de trabalhos práticos enfrentados no mercado de trabalho. Sendo uma iniciação científica sem fins lucrativos a conciliação dos projetos com a grade curricular da própria instituição tornou-se algo fundamental nesses últimos 2 anos de graduação

O projeto aqui proposto tem de suma importância uma contribuição não só para com a instituição mas como também para o próprio desenvolvimento profissional dos autores haja vista que este projeto acadêmico pôde se agregar em fundamentos intrínsecos da disciplina de desenho técnico do curso de Engenharia civil assim como nas normas técnicas que regem a segurança contra incêndio e pânico do corpo de bombeiros.

Somado a isso, o projeto tem como fim a conservação de um patrimônio público, que gradativamente está sendo desvalorizado, relacionado não somente às rotas de fugas, equipamentos que evitam a degradação da instituição mas como também o bem estar de todos os graduandos e docentes que fazem parte da nossa vida acadêmica e da criação de inovações para a sociedade.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Notas Técnicas - Grupo 1

NT 1-01 - Procedimentos administrativos para regularização e fiscalização, Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP), 2019.

NT 1-02 - Terminologia de segurança contra incêndio e pânico, Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP), 2019.

NT 1-03 - Símbolos gráficos para projetos de segurança contra incêndio e pânico, Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP), 2019.

NT 1-04 - Classificação das edificações e áreas de risco quanto ao risco de incêndio, Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP), 2019.

NT 1-05 - Edificações anteriores - Adequação ao COSCIP, Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP), 2019.

NT 1-06 - Processo administrativo em tramitação por adequação normativa, Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP), 2019.

NT 1-07 - Atividades Econômicas de baixo Risco, Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP), 2019.

Notas Técnicas - Grupo 2

NT 2-01 - Sistema de proteção por extintores de incêndio, Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP), 2019.

NT 2-02 - Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio, Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP), 2019.

NT 2-05 - Sinalização de segurança contra incêndio e pânico, Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP), 2019.

NT 2-07 - Sistema de detecção e alarme de incêndio, Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP), 2019.

NT 2-08 - Saídas de emergência em edificações, Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP), 2019.

NT 2-10 - Plano de emergência contra incêndio e pânico (PECIP). Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro, 2019.