

PRODUÇÃO TÉCNICA ITV DS

**DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE TREINAMENTO
COGNITIVO PARA OPERADORES DE ESCAVADEIRA DO
COMPLEXO ELIEZER BATISTA MINA S11D, EM CANAÃ DOS
CARAJÁS**

**Guilherme de Souza Cruz
Schubert Ribeiro de Carvalho
Antonio Pereira**

Belém / PA

2020

Título: Desenvolvimento de modelo de treinamento cognitivo para operadores de escavadeira do complexo Eliezer Batista mina s11d, em Canaã dos Carajás.	
PROD. TEC. ITV DS - N0030/2020	Revisão 00
Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (x) Pública	

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

<p>C957 Cruz, Guilherme de Souza</p> <p style="text-align: center;">Desenvolvimento de modelo de treinamento cognitivo para operadores de escavadeira do complexo Eliezer Batista mina s11d, em Canaã dos Carajás / Guilherme de Souza Cruz, Schubert Ribeiro de Carvalho, Antonio Pereira. -- Belém, 2020.</p> <p style="text-align: center;">39 p. : il.</p> <p style="text-align: center;">Relatório Técnico (Instituto Tecnológico Vale) – 2020 PROD.TEC.ITV.DS.N030/2020 DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2020.30.Cruz</p> <p style="text-align: center;">1. Eletroencefalografia (EEG) – Mina S11D - Carajás, Serra dos (PA). 2. Treinamento cognitivo - Operadores de Escavadeira - Carajás, Serra dos (PA). 3. Mina S11D - Carajás, Serra dos (PA). I. Carvalho, Schubert Ribeiro de. II. Pereira, Antonio. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 23. ed. 006.3098115</p>
--

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves / CRB 2 – 525

RESUMO EXECUTIVO

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver e validar experimentalmente um método de treinamento cognitivo de curto prazo (cinco dias) em simulador de realidade virtual e testes em laboratório. O treinamento foi usado como uma ferramenta de neuromodulação orientada para tarefas, ou seja, os operadores de escavadeiras do Complexo Eliezer Batista na mina S11D aprenderam a modular suas ondas cerebrais dentro de uma certa faixa de frequência (ritmo sensório motor (SMR) [12-15]HZ) anteriormente relacionado à melhoria do desempenho operacional. Durante o processo de treinamento, eles receberam feedback sobre seu progresso. Esse tipo de treinamento é denominado de treinamento com neurofeedback. A intenção original desta pesquisa foi melhorar o desempenho dos operadores de escavadeiras no Complexo da S11D (operação de máquinas pesadas), e o plano de implementação do treinamento cognitivo foi em um período de 5 (cinco) dias. Este estudo utiliza sinais de eletroencefalograma (EEG) como uma medida de neuromodulação. No procedimento de neurofeedback, um dispositivo com eletrodos secos e comunicação via Bluetooth foi usado para monitorar a atividade cerebral dos operadores, o que permite o mesmo a realizar suas funções normalmente. A relação entre aprendizagem do controle neural e a produção individual de minério tonelada por hora (ton/h) em um ambiente de realidade virtual foi então investigada. Foi possível notar uma diferença estatisticamente significativa em relação à produtividade dos operadores antes e após a intervenção. Assim, confirma-se a importância e eficácia do treinamento com uso de neurofeedback.

Palavras-chaves: eletroencefalografia (EEG), *Neurofeedback*, ritmo sensório motor (SMR), treinamento cognitivo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Complexo minerador de Carajás.....	09
Figura 2 -	Simulador de realidade virtual da Vale.....	12
Figura 3 -	Demonstrativo da área de foco do treinamento cognitivo.....	17
Figura 4 -	Teste de Stroop.....	18
Figura 5 -	Treinamento Cognitivo (TC)	19
Figura 6 -	Posicionamento dos eletrodos de acordo com o sistema 10-20.....	19
Figura 7 -	Produtividade do grupo de treinamento antes e depois do treinamento	21
Figura 8 -	Produtividade do grupo controle antes e depois do treinamento.....	21
Figura 9 -	Diferença de produtividade dos grupos (%)	22
Figura 10 -	Teste de Wilcoxon do grupo experimental	23
Figura 11 -	Teste de Wilcoxon do grupo controle	24
Figura 12 -	Análise de diferença em diferenças	25
Figura 13 -	Análise gráfica do impacto do treinamento cognitivo pós intervenção	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Modelo experimental "Before and after".....	13
Tabela 2 -	Cálculo do método de diferença em diferenças.....	13

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EEG	- Eletroencefalografia
ITV	- DSInstituto Tecnológico Vale - Desenvolvimento Sustentável
POAD	- Programa de Operadores de Alto Desempenho
SMR	- Ritmo Sensório Motor
TG	- Treinamento Cognitivo

LISTA DE SÍMBOLOS

Γ Letra grega Gama

Δ Letra grega Delta

Θ Letra grega Teta

α Letra grega alfa

β Letra grega Beta

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	9
2.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
2.1.	Grupos de Estudo	11
2.2.	Aquisição de dados.....	12
2.3.	Diferenças em Diferenças.....	13
3.	METODOLOGIA DE TREINAMENTO COGNITIVO E CONFIGURAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	14
3.1.	Grupo de treinaMENTO	14
3.2.	Grupo controle	15
3.3.	Protocolo de Treinamento.....	16
3.4.	Teste de stroop	17
3.5.	Treinamento cognitivo.....	18
4.	RESULTADOS	20
4.1.	Teste de stroop	26
5.	DISCUSSÃO.....	26
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
	REFERÊNCIAS	29
	Apêndice A – Teste de Stroop fase 1	36
	Apêndice B - Teste de Stroop fase 2.....	37
	Apêndice C - Teste de Stroop fase 3.....	38

1. INTRODUÇÃO

Mineração é um termo que se refere a um conjunto de processos com finalidade de extrair substâncias minerais da terra. A extração desses minerais é composta de várias etapas como pesquisa e exploração, lavra e beneficiamento. Sendo a mineração uma das atividades essenciais para a indústria e com grande impacto econômico no país, é necessária a utilização de um maquinário apropriado que garanta o fornecimento de matéria prima (minério de ferro) para suprir as demandas industriais e a manutenção do modo de vida moderno. A atividade mineradora é fundamental para a manutenção do nível de vida e avanço tecnológico das sociedades modernas (LÈBRE; CORDER; GOLEV; ALVES et al.,2017).

Figura 1 - Complexo minerador de Carajás



Fonte: Vagas no trecho.

Na Vale, e mais especificamente no Complexo Eliezer Batista da mina S11D, grande parte da produtividade necessária para a extração de recursos minerais é destinada aos indivíduos que operam o maquinário usado nessas atividades. A extração do minério bruto é realizada principalmente com máquinas de grande porte, como as escavadeiras, guias e tratores que, no geral, oferecem um ambiente de estresse pelo fato da complexidade da tarefa de demanda dos serviços, afetando diretamente a qualidade de vida dos operadores a curto e longo prazo (HORBERRY; BURGESS-LIMERICK; STEINER, 2016; MOŚCICKATESKE et al., 2017). A falta de um acompanhamento adequado do estado de saúde, tanto físico quanto mental, têm impactos negativos na qualidade de vida desses operadores, podendo afetar diretamente toda a cadeia produtiva. Como consequência disso, aumentam as chances de ocorrência de acidentes e diminuição de performance dos operadores devido à falta de concentração na tarefa laboral associada a diversos fatores, como por exemplo a fadiga mental ou distração. Estes dois últimos fatores comprometem as habilidades cerebrais (memória de trabalho) dos operadores prejudicando o correto funcionamento das habilidades cerebrais necessárias para a operação correta e em alta performance das máquinas, como tempo de reação, vigilância, coordenação motora e tomada de decisão (FLETCHER et al., 2015).

Este estudo objetivou a otimização de competências cognitivas de operadores de escavadeiras de grande porte, envolvidos em tarefas de extração de minério de ferro. As competências cerebrais exigidas para a operação efetiva do maquinário usado na atividade mineradora, exigem adequação cognitiva, controle motor e estados atencionais. Para se quantificar a atividade cerebral, um conjunto de técnicas pode ser usado, por exemplo: imagem por ressonância magnética ou eletroencefalografia (EEG). A primeira - apesar de demonstrar alta resolução espacial, comparada com EEG - usa equipamentos que inviabilizam seu uso em tarefas de operação de equipamentos de mina, pois o sujeito deve permanecer deitado. Por outro lado, equipamentos EEG são menores e funcionam com conexão sem fio, viabilizando seu uso durante a operação do equipamento de mina. Além disso, técnicas de condicionamento de padrões cerebrais como as baseadas em treinamento cognitivo, geralmente fazem um treinamento cognitivo com EEG e focam em bandas de frequências específicas das oscilações cerebrais, para enviar um sinal de retorno ao sujeito, sendo reconduzido. Essa técnica é conhecida como *neurofeedback*.

Esta dissertação de mestrado foi dividida em seis tópicos principais: 1) objetivos, 2) referencial teórico, 3) materiais e métodos, 4) resultados, 5) discussão e 6) conclusão. O experimento de coleta de dados encefalográficos dos operadores. Esse sinal é analisado com objetivo de identificar um padrão que seja característico na faixa de frequência sensório motora (12-15Hz) em operadores de alto desempenho, que são operadores com experiência na atividade que eles já desenvolvem. Assim, acredita-se ser possível modular a mesma frequência em outros operadores visando melhorar o desempenho na escavação de minério. Espera-se, então, que com este projeto os operadores de escavadeira na mina de S11D, sejam capazes de coletar mais minério em menos tempo, aumentando assim a produção em tonelada/hora. O objetivo a longo prazo, a melhoria na qualidade de vida dos operadores proveniente não apenas da melhoria do desempenho, mas também na diminuição na taxa de acidentes de trabalho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. GRUPOS DE ESTUDO

O desenho experimental comumente preferido (VERNON, 2005; GRUZELIER, 2014; KAMEL NIDAL, 2017; WANG;HSIEH, 2013) para investigar intervenções de treinamento cognitivo é aquele com designação aleatória de uma amostra de participantes, para grupos de treinamento e controle e com avaliações pré e pós teste de uma seleção de tarefas escolhidas para representar uma ou mais habilidades cognitivas que o treinamento pode potencialmente melhorar. Pelo fato da amostra para o experimento ser limitada e pré determinada, apenas a separação dos operadores em grupo se deu de forma aleatória. Sendo assim, os operadores foram divididos em grupos (turmas). Houve ainda a necessidade da retirada de um operador de cada grupo, pois houve interferência na coleta de dados de um operador do grupo controle. Foi, então, retirado um operador do grupo de tratamento, para que se igualasse a quantidade de operadores nos dois grupos

Os participantes foram cedidos pela equipe do projeto "Programa de Operadores de Alto desempenho" (POAD) do S11D. É importante ressaltar que nenhum dos grupos teve conhecimento da diferença de treinamento, para que não houvesse nenhum tipo de "contaminação" dos dados coletados. Os grupos de

treinamento e controle foram divididos em quantidades iguais de oito operadores em cada.

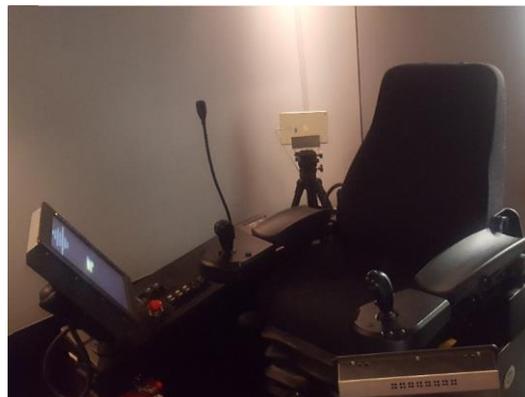
2.2. AQUISIÇÃO DE DADOS

O registro dos dados se deu através da utilização de um capacete neural, modelo BrainMaster 24D. O mesmo possui 21 canais para aquisição das frequências cerebrais, dispostos segundo sistema internacional 10/20 (Kamel Nidal, 2017) de posicionamento dos eletrodos. O sistema possui uma taxa de amostragem de 300Hz. O processo entre obtenção dos dados encefalográficos e treinamento foi feito com os softwares DSI-Streamer e BrainAvatar respectivamente. Os softwares utilizados para as coletas são fornecidos pelas fabricantes "Wearable Sensing" e "BrainMaster", respectivamente.

Figura 2 - Simulador de realidade virtual da Vale.



(a) Ambiente de registro



(b) Ambiente de controle no simulador

Fonte: Autorial, 2019.

O desenho experimental seguiu o método Before and after designs (CAMPBELL, 2005). A Tabela 3 demonstra a estrutura desta metodologia. Neste modelo, são realizadas duas medições, uma antes, chamada de linha de base (bx) e uma depois da intervenção do experimento (ax), onde $x = \{1,2,3, \dots, m\}$ representa o operador e m o número total de operadores. Após realizada as duas medidas, é possível verificar o efeito através da relação $dx = bx - ax$.

Tabela 1 - Modelo experimental “Before and after”

Operador	Antes	Intervenção	Depois	Diferenças
1	b1		a1	b1 - a1
2	b2		a2	b2 - a2
3	b3		a3	b3 - a3
...
m	bm		am	bm - am

Fonte: Autoral, 2019.

2.3. DIFERENÇAS EM DIFERENÇAS

A utilização do método de diferenças em diferenças cumpre a função de avaliar a eficácia do método de treinamento, comparando mudanças nos resultados ao longo do tempo entre o grupo controle e o grupo de treinamento. Esse método combina duas estimativas falsas do contrafactual com objetivo de aprimorar a estimativa final do mesmo, conhecidas como: diferença nos resultados antes e depois da intervenção entre os grupos de tratamento ($B - A$) e a diferença nos resultados após a intervenção entre os grupos de tratamento e comparação ($B - D$, como mostrado na Tabela 5. Onde DD (diferença em diferenças) será o impacto do experimento em cima da nossa variável. Podendo também ser calculada da seguinte maneira: $DD = (B - D) - (A - C)$. Dessa maneira, é calculada a diferença entre o antes e o depois de cada grupo, subtraindo o último do primeiro resultado.

Tabela 2 - Cálculo do método de diferença em diferenças

	Depois	Antes	Diferença
Tratamento/inscritos	B	A	$B - A$
Comparação/não inscritos	D	C	$D - C$
Diferença	$B - D$	$A - C$	$DD = (B - A) - (D - C)$

Fonte: Paul J. Gertler, Sebastián Martínez, Patrick Premand, L. B. R. e C. M. J. V. (2018). *Avaliação de Impacto na Prática Segunda edição* (Segunda Ed). Grupo Banco Mundial. <https://doi.org/DOI: 10.1596/978-1-4648-0889-0>

É importante frisar aqui que, ambos os grupos de tratamento e controle, necessitam ter as mesmas condições antes da intervenção para a utilização desta metodologia. O cálculo do impacto é feito da seguinte maneira:

- É obtido o resultado da operação (B - A)
- Posteriormente, o resultado de (D - C)
- Por fim, é obtido o valor de DD através da operação $DD = (B - A) - (D - C)$

3. METODOLOGIA DE TREINAMENTO COGNITIVO E CONFIGURAÇÃO DO EXPERIMENTO

3.1. GRUPO DE TREINAMENTO

A fase de treinamento da equipe de operadores de escavadeira, foi dividida em duas etapas (etapa Carajás e etapa Belém). Durante a etapa Carajás os operadores desenvolveram suas operações em simulador, antes e após o treinamento cognitivo. Na etapa Belém, os operadores estiveram, durante 5 dias, nas instalações do Instituto Tecnológico Vale dedicados exclusivamente às atividades do protocolo. Por questões logísticas, os operadores foram divididos em dois grupos, turmas 1 e 2. A metodologia do treinamento foi implementada da seguinte forma:

- Semana 1: Registro da atividade EEG em repouso e coleta de dados em simulador de operação das turmas 1 e 2, em Carajás
- Semana 2: Treinamento cognitivo da turma 1, em Belém
 - Dia 1
 - 3 (três) minutos de dados EEG em repouso
 - Teste de Stroop
 - 1 (um) minuto de adaptação do protocolo
 - Treinamento Cognitivo
 - 3 (três) minutos de resting State

– Dias 2, 3 e 4

- Resting State
- 1 (um) minuto de adaptação do protocolo
- Treinamento Cognitivo
- Resting State

– Dia 5

- Resting State
- 1 (um) minuto de adaptação do protocolo
- Treinamento Cognitivo
- Teste de Stroop
- Resting State

- Semana 3: Coleta em simulador de operação das turmas 1 em Carajás
- Semana 4: Treinamento cognitivo da turma 2 em Belém, como descrito na semana 2
- Semana 5: Coleta em simulador de operação das turmas 2 em Carajás

3.2. GRUPO CONTROLE

Para o grupo controle foram feitas coletas apenas em simulador nas instalações do complexo Eliezer Batista S11D em Canaã dos Carajás num esquema de três semanas. A metodologia e coleta de dados do grupo controle foi implementada da seguinte maneira:

- Semana 1: Coleta de dados no simulador
- Semana 2: Os operadores desenvolveram suas atividades normalmente
- Semana 3: Coleta de dados no simulador

É importante salientar que a coleta do grupo controle seguiu método do grupo de treinamento, ou seja, primeiramente foi realizado o resting state de 3 minutos de olhos abertos, em seguida foi realizada a atividade no simulador.

A captura dos dados em estado de repouso se justifica para a aquisição de um *baseline* (linha de base) com os dados cerebrais sem realizar tarefas que necessitem de esforço mental e o minuto referente à adaptação do protocolo, é referente a adaptação do software para cada cérebro individualmente, definindo os limiares do treinamento.

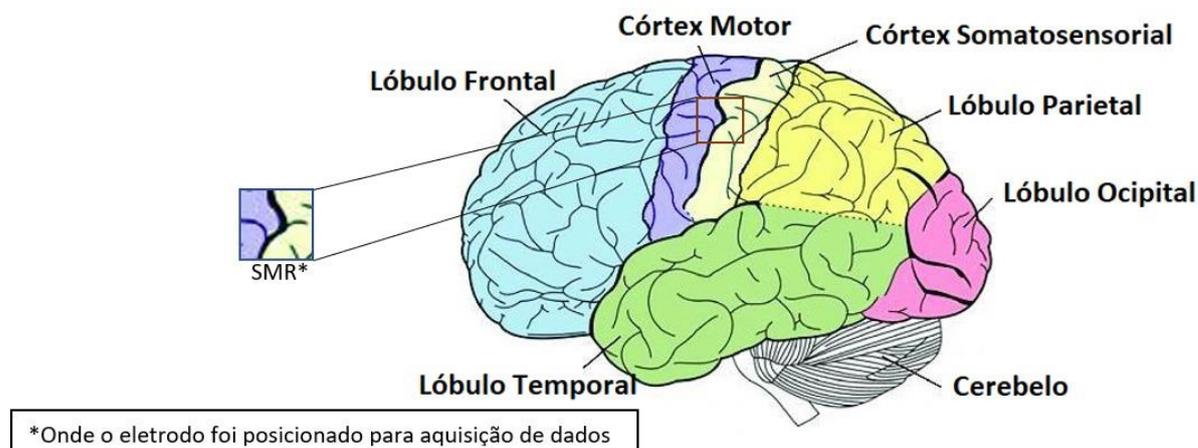
3.3. PROTOCOLO DE TREINAMENTO

O principal objetivo das intervenções com *neurofeedback*, é o de condicionar os participantes a controlar a energia do seu ritmo sensório motor. A metodologia de treinamento proposta é baseada no paradigma de condicionamento operante, que é um processo de aprendizagem através do qual o comportamento é modificado por reforço ou punição. No contexto deste estudo, o reforço e a punição se darão pelo *feedback* do estímulo visual e sonoro (como um bipe) que o treinamento da atividade neural resultará, ou seja, um aumento na intensidade ou na duração do SMR, resultará num retorno visual e sonoro (reforço) e o contrário, deixará o sistema inativo.

Ao aplicar o *neurofeedback* no SMR, o posicionamento do eletrodo é crítico. O SMR está funcionalmente ligado aos córtex motor primário e sensorial, localizado centralmente no córtex cerebral. Para registrar corretamente o SMR, os eletrodos devem estar posicionados sobre essa região. Embora o SMR ocorra numa faixa de frequência específica [12–15] Hz, simplesmente o treinamento dessa frequência não é o método mais eficaz para o neurofeedback de SMR (TIMMERS, 2014). O ritmo sensório motor se manifesta e suprime como um padrão estreito e repentino e quanto mais tempo esses picos persistirem, melhor a resposta ao treinamento. Assim, além de treinar a variação da amplitude da banda de frequência, também se irá recompensar o sujeito quando ele manter a amplitude dentro da faixa de frequência por períodos cada vez mais longos (recompensando com base em uma duração acima do limiar). O registro do SMR se deu pelos eletrodos centrais (Cz, C3 e C4) do BrainMaster. A montagem dos eletrodos é baseada no sistema 10-20 (Kamel Nidal, 2017), como mostrado na Figura 3. Os sinais EEG foram registrados através de 21 eletrodos dispostos no escalpo, como mostra na Figura 3.

A área do cérebro que foi focada no treinamento, foi a área central, que diz respeito ao controle motor, visual e coordenação espaço-visual do indivíduo, como mostra a figura abaixo (fig. 3).

Figura 3 – Demonstrativo da área de foco do treinamento cognitivo



Fonte: Researchgate

3.4. TESTE DE STROOP

O experimento denominado Stroop, desenvolvido pelo pesquisador homônimo em 1935, visa simular a habilidade desempenhada pelo controle inibitório, na qual é requerida a inibição deliberada de estímulos irrelevantes ou automáticos para a realização de determinada tarefa (MIYAKE et al., 2000). Este método de avaliação foi utilizado e comprovadamente validado em estudos com crianças com dificuldade em leitura (Cox, 1997), melhoria na memória de trabalho (Wang, 2013) e citado como método de avaliação em (Kamel Nidal, 2017).

O teste de Stroop foi utilizado para testar a concentração, velocidade de resposta e taxa de erro dos operadores durante uma tarefa que exige alta concentração. A aplicação do teste foi feita através do aplicativo PsychoPy, que se trata de uma aplicação utilizada para criação de experimentos na ciência comportamental (Peirce, 2019). A aplicação foi realizada da seguinte maneira:

- O teste foi composto por 3 (três) fases
 - Foco apenas na palavra apresentada (AZUL, VERDE ou VERMELHO)
 - Foco apenas na cor, mostrada através de um X (X, X e X)

- Foco na cor da palavra e não na palavra em si (AZUL, VERDE, VERMELHO)

Ou seja, se fosse mostrada a palavra “AZUL”, o operador deveria selecionar “vermelho”. Esta seleção foi feita através das teclas 1, 2 e 3 do teclado numérico do computador respectivamente. A figura abaixo ilustra o teste de Stroop em execução.

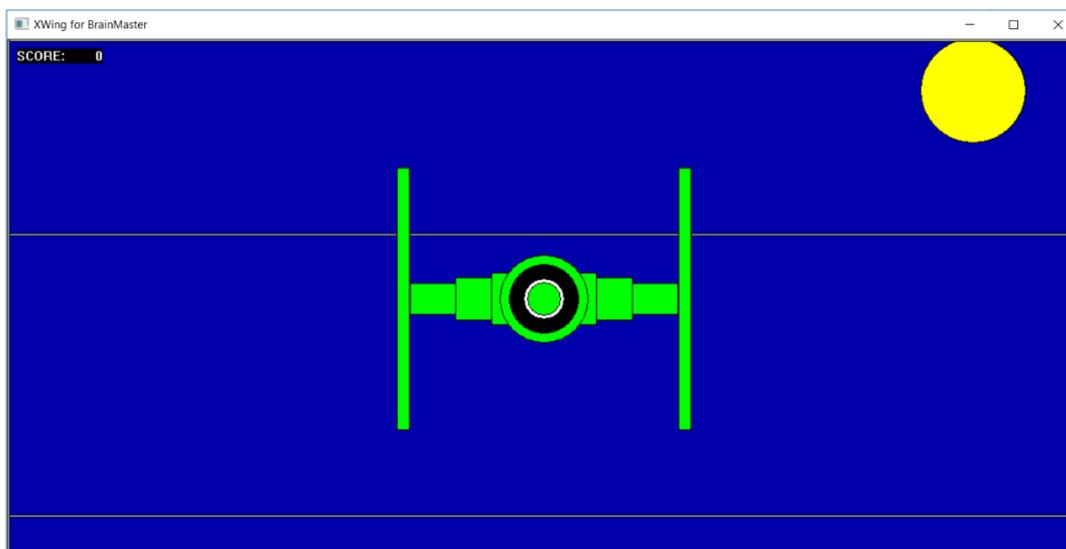
Figura 4 - Teste de Stroop



Fonte: Autorial, 2019

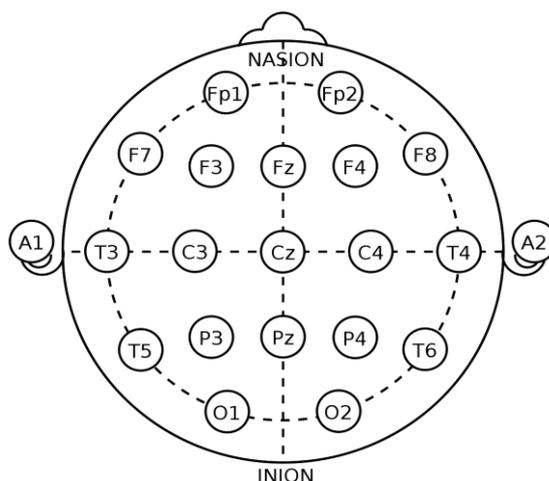
3.5. TREINAMENTO COGNITIVO

O treinamento cognitivo (TC) foi realizado através do software BrainAvatar, que acompanha o capacete neural da empresa Brain Master (BrainMaster Technologies, OH). O TC foi composto de um jogo, em que operador tinha que manter a nave no limiar (linha central), para que assim fosse emitido um som que representava que o mesmo estava satisfazendo as condições do treinamento que eram o aumento do SMR (12-15Hz) redução do Teta (4-7Hz) e *HiBeta* (20-30Hz). O limiar é automático, o que significa que recompensa e inibição são definidas automaticamente pelo programa.

Figura 5 - Treinamento Cognitivo (TC)

Fonte: Autoral, 2019

Foi, então, contabilizada a pontuação de cada operador no final da sessão. A pontuação ocorre quando o operador atinge a marca de 500 milissegundos em que os níveis das três bandas citadas apresentem o comportamento desejado. Os sujeitos realizaram duas sessões de TC por dia, cada uma de 40 minutos, uma pela manhã, e outra pela tarde, espaçadas de aproximadamente 4 horas. Totalizando 4 sessões para cada operador.

Figura 6 - Posicionamento de eletrodos de acordo com o sistema 10-20.

Fonte: Kamel Nidal, A. S. M. (2017). EEG/ERP Analysis: methods and applications. In *EEG/ERP Analysis: Methods and Applications* (p. 334).

Em pessoas saudáveis, o SMR aparece 10-20 vezes por minuto. De modo a manter um grau de dificuldade pouco elevado no início do treinamento e manter a motivação dos sujeitos, pois eles foram recompensados quando conseguiam manter a amplitude do sinal por uma duração superior a 0.5s (TIMMERS, 2014). Esse tipo de *feedback* é conhecido como treinamento SMR discreto. O limiar temporal será incrementado na ordem de [0.25-0.75s] de acordo com a evolução de cada indivíduo.

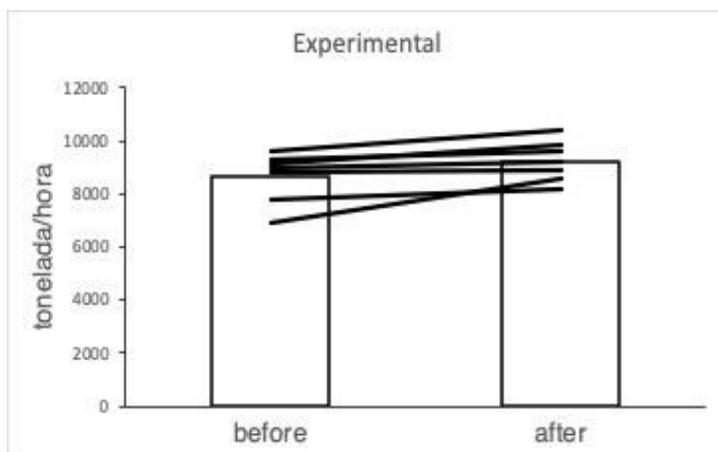
Outro ponto importante da metodologia proposta é saber em qual faixa dentro do espectro do SMR cada indivíduo responde melhor ao treinamento. A fim de ajustar a “melhor” frequência de treinamento para cada sujeito, as bandas de frequência serão alteradas dentro da faixa [12–15] Hz em larguras de banda pequenas na casa de 1Hz. Este processo, bem como as sessões de *neurofeedback* foram realizados através do software *BrainAvatar* fornecido com o *BrainMaster* (BrainMaster Technologies, OH). Ele é o responsável por ajustar o limiar para cada operador.

4. RESULTADOS

Esta sessão apresenta e discute os resultados obtidos provenientes da intervenção do treinamento cognitivo (TC), proposto nesta dissertação de mestrado. É importante ressaltar que os dados de produtividade foram obtidos no simulador de realidade virtual da Vale.

A Figura 3 mostra a produtividade de cada operador antes e depois do treinamento cognitivo do grupo experimental. Observa-se que todos os operadores apresentaram um aumento de produtividade em ton/h. O que vem a ser surpreendente devido a curta duração do TC que foi de apenas uma semana, quando em geral o TC deve ser empregado por várias semanas para que se observe um ganho cognitivo. No nosso estudo o ganho cognitivo se reflete no aumento de performance laboral. Acredita-se que essa melhora foi devida a natureza do treinamento que foi aplicado diretamente na região sensório-motora responsável pela execução dos movimentos motores.

Figura 7 - Produtividade do grupo de treinamento antes e depois do treinamento

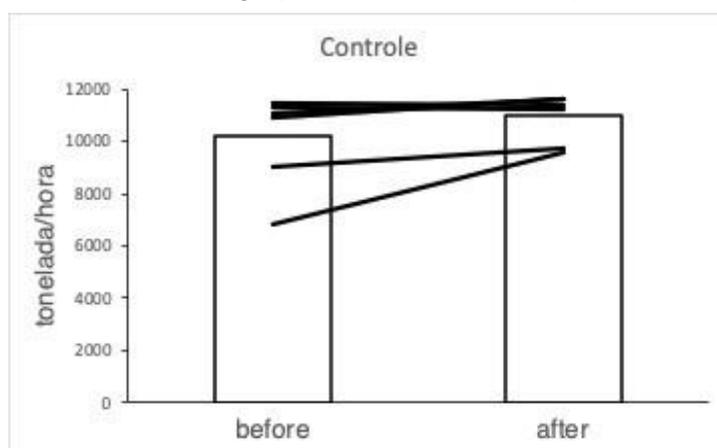


Fonte: Autoral

A Figura 4 mostra os resultados da produtividade do grupo controle. Os dados foram obtidos no simulador de realidade virtual. Como se pode observar, os operadores do grupo controle apresentaram resultados de alta performance (produtividade ≥ 10.000 ton/h), o que veio a prejudicar a análise comparativa com o grupo de treinamento, devido a amostra não ser homogênea.

A Figura 5 mostra, em medidas percentuais, o aumento de performance de cada dos operadores do grupo controle (Figura 5 (a)) e do grupo de tratamento (Figura 5 (b)). É importante salientar que o grupo de tratamento, enquanto estava sujeito ao experimento, ficou uma semana sem realizar suas atividades de trabalho. Enquanto que o grupo de tratamento, não passou teve essa quebra de rotina. Reforçando, novamente, os resultados positivos do treinamento em curto prazo.

Figura 8 - Produtividade do grupo controle antes e depois do treinamento



Fonte: Autoral, 2020.

Figura 9 - Diferença de produtividade dos grupos (%)

(a) Diferença de produtividade do grupo controle (%)



(b) Diferença de produtividade do grupo de tratamento (%)

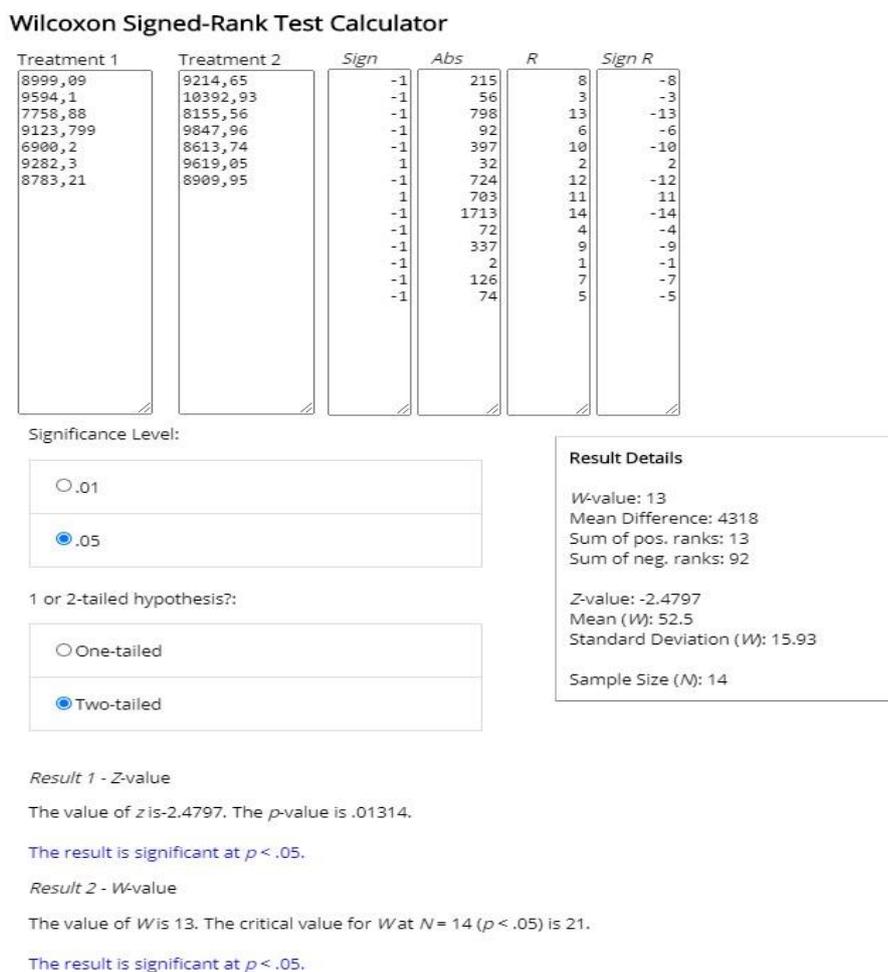
Fonte: Autoral, 2020.

Os resultados do método de diferenças em diferenças foram calculados utilizando os dados de produtividade dos operadores, antes e depois do treinamento (grupo de treinamento), e na primeira e segunda sessão (grupo controle).

A análise estatística dos dados do grupo experimental foi realizada através do teste de Wilcoxon, já que os dados das amostras não são normalmente distribuídos. Através dessa análise foi possível avaliar que houve uma melhora na produtividade pós treinamento

($W = 13$; $Z = -2.47$; $p < 0.013$), utilizando um nível de significância de $p < 0.05$ (fig. 6). Surpreendentemente, o protocolo de treinamento proposto - tendo duração de apenas cinco dias - propiciou aumento de produtividade dos operadores testados. Enquanto que no grupo controle, não houve uma melhora estatisticamente significativa ($W = 37$; $Z = -0.97$; $p < 0.33$).

Figura 10 - Teste de Wilcoxon do grupo experimental



Fonte: Autoral, 2020.

O cálculo foi realizado pela soma das diferenças das produtividades individuais, antes e depois do treinamento. Obtido esse valor, a produtividade do grupo de treinamento foi subtraída do grupo controle, afim de alcançar o fator de impacto da metodologia aplicada.

A Figura 8 mostra o modelo confeccionado com base na variável produtividade (ton/h) dos operadores. As variáveis "**dtr**" e "**dtempo**" representam variáveis "**dummys**" de grupo controle e grupo de tratamento antes e depois da intervenção, respectivamente.

Figura 11 - Teste de Wilcoxon do grupo controle

Wilcoxon Signed-Rank Test Calculator

Treatment 1	Treatment 2	Sign	Abs	R	Sign R
11460,86	11428,04	1	32	5	5
10893,89	11603,7	1	82	8.5	8.5
9046,11	9765,02	-1	710	12	-12
11323,66	11289,93	1	82	8.5	8.5
10893,93	11591,15	-1	719	13	-13
6805,6	9572,25	1	9	2	2
11075,18	11649,26	1	34	6	6
		-1	27	4	-4
		-1	698	11	-11
		1	78	7	7
		-1	2767	14	-14
		-1	19	3	-3
		-1	574	10	-10
		-1	8	1	-1

Significance Level:

 .01 .05

1 or 2-tailed hypothesis?:

 One-tailed Two-tailed

Result Details

W-value: 37
 Mean Difference: 5129.14
 Sum of pos. ranks: 37
 Sum of neg. ranks: 68

Z-value: -0.973
 Mean (W): 52.5
 Standard Deviation (W): 15.93

Sample Size (N): 14

Result 1 - Z-value

The value of z is -0.973. The p-value is .33204.

The result is *not significant* at $p < .05$.

Result 2 - W-value

The value of W is 37. The critical value for W at $N = 14$ ($p < .05$) is 21.The result is *not significant* at $p < .05$.

Fonte: Autoral, 2020.

Através deste resultado, é possível analisar que houve uma melhora no grupo de tratamento com uma significância estatística de $p > 0.009$ e com p valor para o efeito de tratamento de 0.871, o que indica que, mesmo em apenas 5 dias de treinamento, foi possível melhorar a produtividade desses operadores.

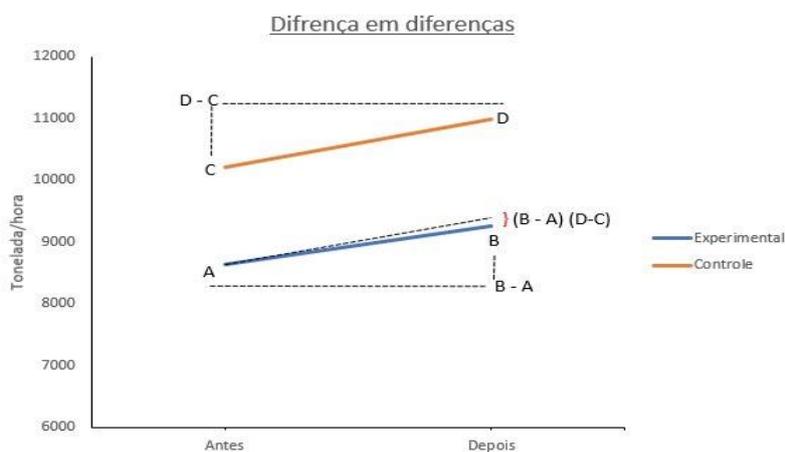
Na figura 9, é mostrada uma análise gráfica do método de diferença em diferenças, evidenciando a melhora do grupo de treinamento pós intervenção.

Figura 12 - Análise de diferença em diferenças

DIFFERENCE-IN-DIFFERENCES ESTIMATION RESULTS				
Number of observations in the DIFF-IN-DIFF: 28				
	Before	After		
Control:	7	7	14	
Treated:	7	7	14	
	14	14		
Outcome var.	produce	S. Err.	t	P> t
Before				
Control	1.1e+04			
Treated	9264.406			
Diff (T-C)	-1.7e+03	609.587	-2.82	0.009***
After				
Control	1.0e+04			
Treated	8634.511			
Diff (T-C)	-1.6e+03	609.587	2.59	0.016**
Diff-in-Diff	141.617	862.086	0.16	0.871
R-square: 0.42				
* Means and Standard Errors are estimated by linear regression				
Inference: * p<0.01; ** p<0.05; * p<0.1				

Fonte: Autoral, 2020.

Figura 13 - Análise gráfica do impacto do treinamento cognitivo pós intervenção



Fonte: Autoral, 2020.

4.1. TESTE DE STROOP

O resultado do teste de Stroop se mostrou positivo na grande maioria dos operadores, mostrando uma queda no tempo de resposta ao final do treinamento, no último dia, quando foi repetido o teste de Stroop, como mostram os resultados no apêndice (apêndices A, B e C)

5. DISCUSSÃO

No que tange a proposta desta dissertação, de um protocolo de treinamento cognitivo de curta duração para o aumento de desempenho de operadores de escavadeira do Complexo Eliezer Batista da mina S11D por esse projeto, acreditamos que os objetivos aqui propostos foram alcançados: propor, testar e validar uma metodologia de treinamento cerebral de fácil replicação e em um curto período de tempo, como apresentado no Capítulo 4. O mais importante é que com o uso do *neurofeedback* os operadores do grupo de treinamento tiveram aumento de performance na escavação de minério de ferro em apenas uma semana.

Um aspecto que pode ter influenciado na qualidade do dado coletado importante de ser citado, é o da latência nos horários em que foram coletados os dados e feitas as sessões no simulador de realidade virtual. Em certas ocasiões, a coleta ocorreu no período noturno ou na madrugada, por conta da dificuldade logística de locomoção e de horário em que os operadores eram liberados para o experimento.

Para que seja feita uma apuração melhor da efetividade da metodologia e do protocolo propostos, seria ideal que fosse prolongado o cronograma de treinamento e ter grupos de estudo mais homogêneos e melhores condições para realização de experimentos comportamentais. Somente assim, pode ser confirmado com mais rigor científico se o treinamento cognitivo proposto apresenta um impacto de performance a longo prazo. Por exemplo, em estudos anteriores (BOULAY et al., 2011), (VERNON et al., 2003), (WANG; HSIEH, 2013), (EGNER; GRUZELIER, 2004), (JUREWICZ et al., 2018) e (GRUZELIER, 2014), os treinamentos duraram pelo menos um a quatro semanas para que se pudesse notar traços cognitivos ou de performance provenientes do treinamento

cognitivo, o que foi alcançado em uma semana de treinamento com *neurofeedback* proposto neste experimento.

Outro fato importante a ser discriminado é o de não se ter controle total sobre a rotina dos operadores nos intervalos entre as sessões do simulador de realidade virtual, fazendo com que não seja possível avaliar como em apenas uma semana, sem qualquer intervenção, o grupo controle obteve melhoras no simulador. Em que circunstâncias essas melhoras foram medidas ou se algo de incomum na rotina dos operadores aconteceu.

E por fim, por mais que o resultado comparativo com o grupo controle não tenha sido o desejado, não se pode afirmar que não houve avanço no campo da ciência. Pois, como já dizia Popper (1934), o objetivo da ciência é justamente o de testar hipóteses, afirmando ou as falseando, possibilitando assim, a evolução no campo da pesquisa. A produção científica se desenvolve através do denominado "critério da falseabilidade", segundo o qual uma teoria somente pode ser considerada científica se admitir refutação pelos fatos. Assim, ainda que a verdade seja inalcançável, a busca da verdade através de tentativas continua sendo o meio mais adequado para a produção do conhecimento. (CASTILHO, 2019).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Mineração é um termo que se refere a um conjunto de processos com a finalidade de extrair substâncias minerais da terra. Extração por sua vez, realizada por indivíduos que operam máquinas de grande porte, onde não se podem dar ao luxo de cometer qualquer descuido, pois uma falha pode significar um prejuízo não apenas financeiro, mas também no que diz respeito a vidas humanas.

Na Vale, e mais especificamente no Complexo Eliezer Batista, da mina S11D, grande parte da carga de trabalho para a extração de recursos minerais é destinada aos indivíduos que operam o maquinário usado nessas atividades. Tais atividades podem se mostrar demasiadamente estressantes e exigem uma atenção constante dos operadores, o que afeta a qualidade de vida de todo o seu ciclo social a curto e logo prazos.

Este projeto foi realizado com o intuito maior de combater esses impactos negativos e em diminuir a probabilidade da ocorrência de acidentes no chão de fábrica de operações de mineração. Utilizando de uma metodologia inovadora e pioneira (nunca utilizada antes na área da mineração), através de treinamentos de condicionamento do comportamento cerebral, técnica denominada de **Neurofeedback**, onde o operador desenvolve um maior controle sobre a quantidade de energia gasta pelo cérebro, pra efetuar suas atividades de trabalho.

Esta técnica já foi adotada e amplamente validada (vide tabela 1) em experimentos com finalidades semelhantes à deste projeto, o que possibilitou a hipótese de replicação na área da mineração. O cronograma de apenas uma semana de treinamento foi o tempo limite que foi cedido para que pudesse ser realizada alguma tarefa de treinamento com os operadores. Tempo menor do que a quantidade média dos trabalhos já realizados na área.

A análise dos dados foi feita através do método de diferenças em diferenças, o que possibilitou a análise estatística do impacto ocorrido por conta do treinamento com esses operadores. Apesar do resultado não ter se mostrado estatisticamente significativo, não há qualquer indício de que o treinamento não teria o efeito desejado, caso fosse aplicado por mais tempo, de maneira que os operadores se sentissem mais engajados com o projeto.

A título de atividades futuras, se propõe um treinamento que possa ser realizado em mais tempo, com o mínimo de um mês de sessões constantes (média utilizadas em trabalhos científicos de referência). Uma proposta que melhor desenvolvesse a questão logística à realização destas sessões, tendo em vista a dificuldade de locomoção, tanto dos operadores, quanto da equipe científica.

Para corroborar com a importância e aumentar a robustez da pesquisa, sugere-se que seja feita futuramente uma análise conjunta da produtividade dos operadores com o comportamento cerebral dos mesmos na operação, para uma possível análise conjunta dos dados e da possibilidade de se estabelecer um padrão de onda em comportamentos de operadores de maior produtividade.

REFERÊNCIAS

ALVES, W. *et al.* Environmental strategies for the mining sector: evidences from a Brazilian company. *REBRAE*, v. 10, n. 2, p. 186–203, 2017.

BOULAY, C. *et al.* Trained modulation of sensorimotor rhythms can affect reaction time. *Clinical Neurophysiology*, v. 122, n. 9, p. 6, sep. 2011. ISSN 1388-2457.

CAMPBELL, D. M. J. Cross-sectional and Longitudinal Studies. In: *Design of Studies for Medical Research*. [s.l.: s.n.], 2005. p. 78–108.

CASTILHO, R. *Filosofia Geral e Jurídica*. São Paulo: Editora Saraiva, 2019. 403 p. Disponível em: <<https://docero.com.br/doc/nn555vc>>.

CHERON, G. *et al.* Brain Oscillations in Sport: Toward EEG Biomarkers of Performance. *Frontiers in Psychology*, v. 7, p. 25, feb. 2016. ISSN 1664-1078. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fpsyg.2016.00246/abstract>>.

COBEN, R.; ARNS, M.; KOUIJZER, M. E. Enduring Effects of Neurofeedback in Children. In: *Neurofeedback and Neuromodulation Techniques and Applications*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 403–422. ISBN 9780123822352.

EGNER, T.; GRUZELIER, J. EEG biofeedback of low beta band components: frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clinical Neurophysiology*, v. 115, n. 1, p. 131 – 139, 2004. ISSN 1388-2457. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1388245703003535>>.

EGNER, T.; GRUZELIER, J. H. Learned self-regulation of EEG frequency components affects attention and event-related brain potentials in humans. *NeuroReport*, v. 12, n. 18, p. 4155–4159, 2001. ISSN 09594965.

EVANS, J. R. *Handbook of neurofeedback: dynamics and clinical applications*. [S.l.]: CRC Press, 2007.

EVANS, J. R.; ABARBANEL, A. *Introduction to quantitative EEG and neurofeedback*. [S.l.]: Elsevier, 1999.

FLETCHER, A. *et al.* Fatigue management in safety-critical operations: History, terminology, management system frameworks, and industry challenges. *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, v. 10, n. 1, p. 6–28, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/1557234X15573947>>.

GOLA, M. *et al.* EEG beta band activity is related to attention and attentional deficits in the visual performance of elderly subjects. *International Journal of Psychophysiology*, v. 89, n. 3, p. 334 – 341, 2013. ISSN 0167-8760. Psychophysiology in Australasia - ASP conference - November 28 – 30, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016787601300130X>>.

GREENBERG, L. M. *et al.* TOVA 9 Clinical Manual Test of Variables of Attention. p. 1–74, 2018.

GRUZELIER, J. A theory of alpha/theta neurofeedback, creative performance enhancement, long distance functional connectivity and psychological integration. *Cognitive Processing*, v. 10, n. 1 suppl., p. 101–109, 2009. ISSN 16124782.

GRUZELIER, J.; EGNER, T.; VERNON, D. Validating the efficacy of neurofeedback for optimising performance. In: *Progress in Brain Research*. Elsevier, 2006. v. 159, p. 421–431. ISBN 9780444521835. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079612306590272>>.

GRUZELIER, J. *et al.* Replication of elite music performance enhancement following alpha/theta neurofeedback and application to novice performance and improvisation with SMR benefits. *Biological Psychology*, v. 95, p. 96 – 107, 2014. ISSN 0301-0511. SAN (Society of Applied Neuroscience) Special issue on Neurofeedback. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301051113002238>>.

GRUZELIER, J. *et al.* Application of alpha/theta neurofeedback and heart rate variability training to young contemporary dancers: State anxiety and creativity. *International Journal of Psychophysiology*, v. 93, n. 1, p. 105 – 111, 2014. ISSN 0167-8760. Applied Neuroscience: Functional enhancement, prevention, characterisation and methodology. (Hosting the Society of Applied Neuroscience). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016787601300127X>>.

GRUZELIER, J. H. Neuroscience and Biobehavioral Reviews EEG-neurofeedback for optimising performance. I: A review of cognitive and affective outcome in healthy participants. Elsevier Ltd, v. 44, p. 124–141, 2014.

HAMMOND, D. C. What is Neurofeedback: An Update. *Journal of Neurotherapy*, v. 15, n. 4, p. 305–336, 2011. ISSN 10874208.

HORBERRY, T.; BURGESS-LIMERICK, R.; STEINER, L. J. *Human factors for the design, operation, and maintenance of mining equipment*. [S.l.]: CRC Press, 2016.

HSUEH, J.-J. *et al.* Neurofeedback training of EEG alpha rhythm enhances episodic and working memory. *Human Brain Mapping*, v. 37, n. 7, p. 2662–2675, jul. 2016. ISSN 10659471. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/hbm.23201>>.

JUREWICZ, K. *et al.* Eeg-neurofeedback training of beta band (12–22hz) affects alpha and beta frequencies – a controlled study of a healthy population. *Neuropsychologia*, v. 108, p. 13-24, 2018. ISSN 0028-3932. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0028393217304438>>.

KAMEL NIDAL, A. S. M. EEG-ERP-analysis-methods-and-applications. In: *EEG/ERP Analysis: Methods and Applications*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 334.

KAMIYA, J. The first communications about operant conditioning of the EEG. *Journal of Neurotherapy*, v. 15, n. 1, p. 65–73, 2011. ISSN 10874208.

KLIMESCH, W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. *Brain Research Reviews*, v. 29, n. 2-3, p. 169–195, 1999. ISSN 01650173.

LANDERS, D. M. *et al.* The influence of electrocortical biofeedback on performance in pre-elite archers. *Med Sci Sports Exerc*, v.23, n. 1, p. 123-129jan. 1991. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1997806/>>.

Lawrence J. Prinzel III, Alan T. Pope & Frederick G. Freeman (2002) Physiological Self-Regulation and Adaptive Automation, *The International Journal of Aviation Psychology*, 12:2, 179-196, DOI: 10.1207/S15327108IJAP1202_5

LÈBRE; CORDER, G.; GOLEV, A. The role of the mining industry in a circular economy: A framework for resource management at the mine site level. *Journal of Industrial Ecology*, v. 21, n. 3, p. 662–672. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12596>>.

MOTTAZ, A. *et al.* Neurofeedback training of alpha-band coherence enhances motor performance. *Clinical Neurophysiology*, Elsevier, v. 126, n. 9, p. 1754–1760, sep 2015. ISSN 1388-2457. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1388245714008402>>.

MOŚCICKA-TESKE, A. *et al.* Stressful work characteristics, health indicators and work behavior: the case of machine operators. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, Taylor & Francis, v. 23, n. 4, p. 510–518, 2017. PMID: 27278132. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10803548.2016.1197577>>.

MIYAKE, A., FRIEDMAN, N. P., EMERSON, M. J., WITZKI, A. H., HOWERTER, A., WAGER, T. D. The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, v. 41, n.1, p. 49-100, aug. 2000. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>

PEIRCE, J., GRAY, J. R., SIMPSON, S., MACASKILL, M., HÖCHENBERGER, R., SOGO, H., KASTMAN, E., LINDELØV, J. K. PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior Research Methods*, v. 51, n. 1, p, 195–203, 2019. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-01193-y>

REINER, M.; ROZENGURT, R.; BARNEA, A. Better than sleep: Theta neurofeedback training accelerates memory consolidation. *Biological Psychology*, v. 95, p. 45 – 53, 2014. ISSN 0301-0511. SAN (Society of Applied Neuroscience) Special issue on Neurofeedback. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301051113002214>.

RESEARCHGATE. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Primary-brain-regions-Motor-cortex-is-the-region-in-charge-of-planning-control-and_fig2_331905251. Acessado em 03/08/2020

ROS, T. *et al.* Optimizing microsurgical skills with eeg neurofeedback. *BMC Neuroscience*, v. 10, n. 1, p. 87, Jul 2009. ISSN 1471-2202. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1471-2202-10-87>.

SANTOS, Wigvan Junior Pereira dos. "O princípio da Falseabilidade e a noção de ciência de Karl Popper". *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/filosofia/o-principio-falseabilidade-nocao-ciencia-karl-popper.htm>. Acesso em 16 de julho de 2020.

STERMAN, M. B. *et al.* Multiband topographic EEG analysis of a simulated visuomotor aviation task. *International Journal of Psychophysiology*, v. 16, n. 1, p. 49–56, 1994. ISSN 01678760.

TIMMERS, D. Chapter six - treating attention deficits and impulse control. In: CANTOR, D. S.; EVANS, J. R. (Ed.). *Clinical Neurotherapy*. Boston: Academic Press, 2014. p. 139 – 169. ISBN 978-0-12-396988-0. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123969880000064>.

Vagas no trecho. Disponível em:<http://vagasnotrexo.blogspot.com/2015/09/a-tsa-tem-oportunidades-para-projeto.html>. Acessado em 10/07/20.

VERNON, D. *et al.* The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance. *International Journal of Psychophysiology*, v. 47, n. 1, p. 75–85, jan 2003. ISSN 0167-8760. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167876002000910>>.

VERNON, D. J. Can neurofeedback training enhance performance? an evaluation of the evidence with implications for future research. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, v. 30, n. 4, p. 347, Dec 2005. ISSN 1573-3270. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10484-005-8421-4>>.

WANG, J.-R.; HSIEH, S. Neurofeedback training improves attention and working memory performance. 2013.

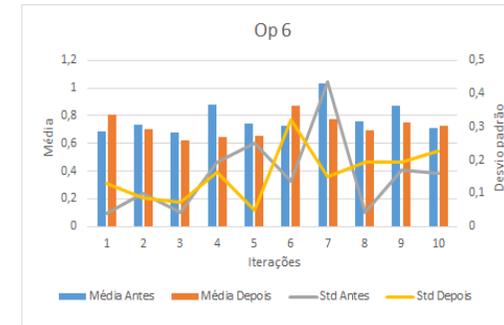
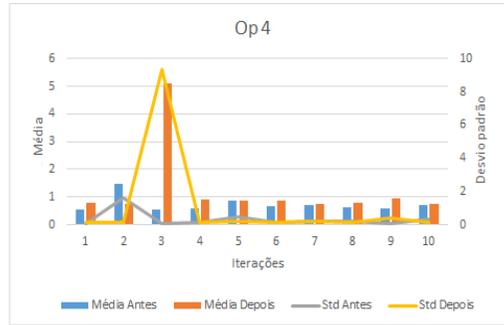
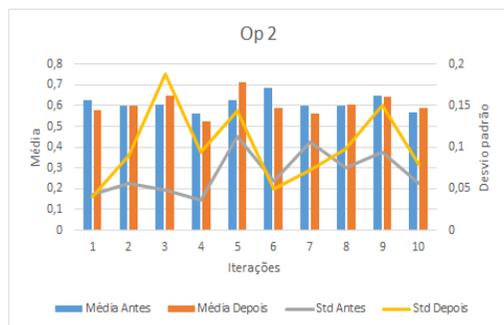
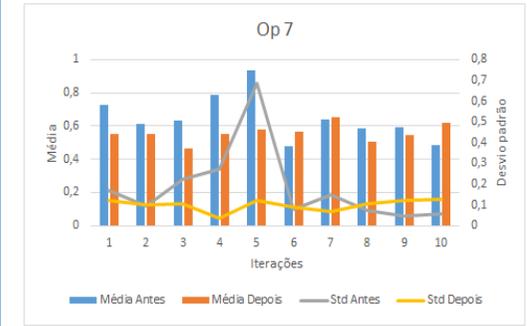
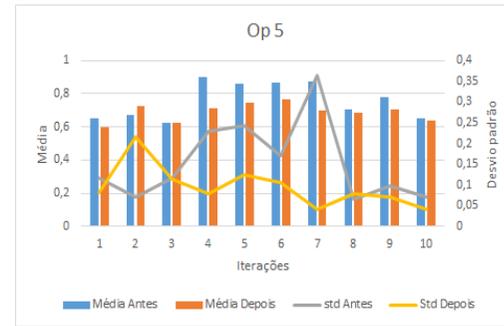
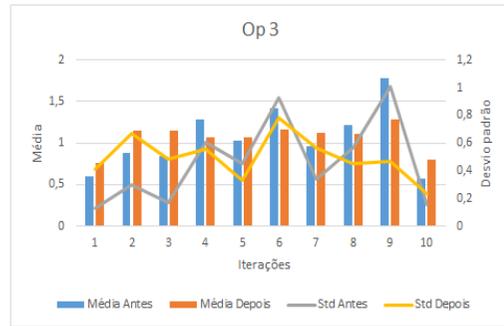
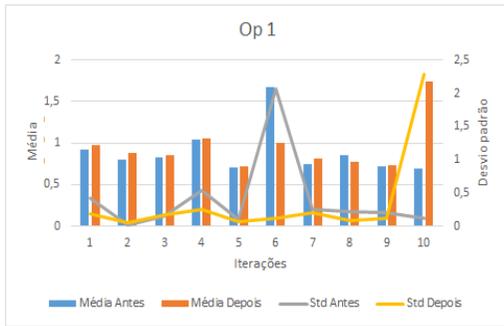
WRÓBEL, A. Attentional activation in corticothalamic loops of the visual system. *The New Visual Neurosciences (Werner JS, Chalupa LM, Eds). The MIT Press, Cambridge Mass, London, UK*, p. 339–349, 2014.

ZOEFEL, B.; HUSTER, R. J.; HERRMANN, C. S. Neurofeedback training of the upper alpha frequency band in EEG improves cognitive performance. *NeuroImage*, v. 54, n. 2, p. 1427–1431, jan. 2011. ISSN 1053-8119. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S105381191001181X>>.

APÊNDICES

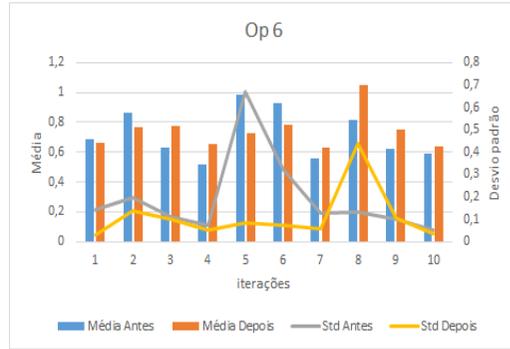
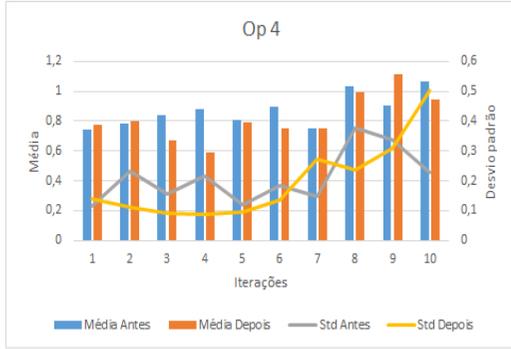
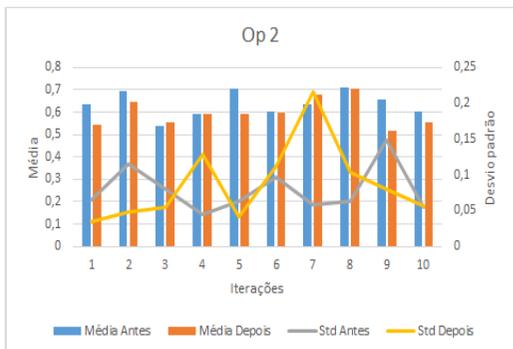
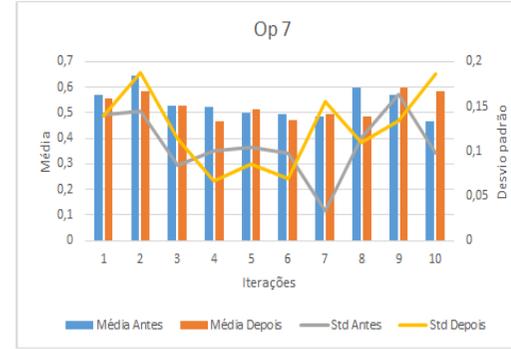
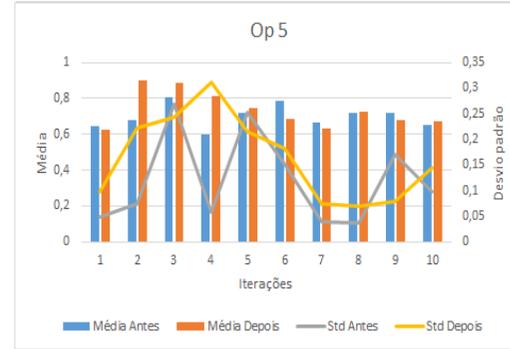
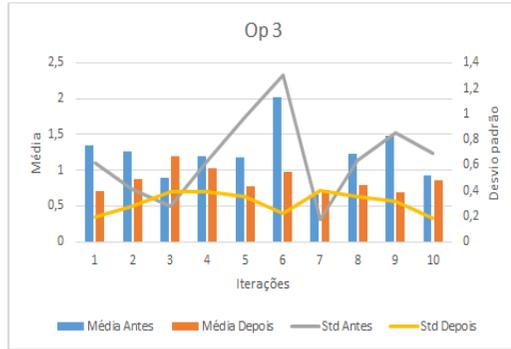
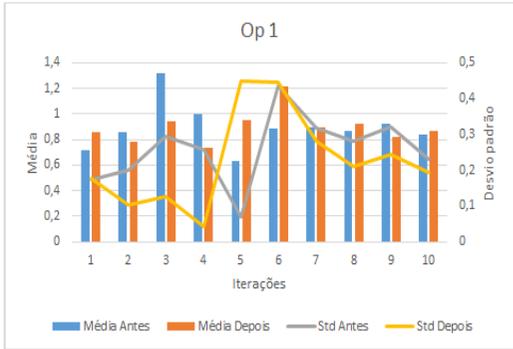
Apêndice A – Teste de Stroop fase 1

Teste 1



Apêndice B -Teste de Stroop fase 2

Teste 2



Apêndice C – Teste de Stroop fase

Teste 3

