

**Mestrado Profissional**  
**Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais**

**Guilherme de Souza Cruz**

**Desenvolvimento de Modelo de Treinamento Cognitivo para Operadores de Escavadeira do Complexo Eliezer Batista Mina S11D, em Canaã dos Carajás**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área da Computação Aplicada, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV).

Orientador: Schubert Ribeiro de Carvalho,  
PhD

Coorientador: Antonio Pereira, Dr.

**Belém / PA**

**2020**

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C957 Cruz, Guilherme de Souza  
Desenvolvimento de Modelo de Treinamento Cognitivo para Operadores de Escavadeira do Complexo Eliezer Batista Mina S11D, em Canaã dos Carajás / Guilherme de Souza Cruz – Belém-PA, 2020.  
87 p.: il.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Tecnológico, 2020.  
Orientador: Schubert Ribeiro de Carvalho, PhD  
Coorientador: Antonio Pereira, Dr

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. II. Título.

## **GUILHERME DE SOUZA CRUZ**

### **Desenvolvimento de Modelo de Treinamento Cognitivo para Operadores de Escavadeira do Complexo Eliezer Batista Mina S11D, em Canaã dos Carajás**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Computação Aplicada, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV)

Data de aprovação: 03 de julho de 2020

Banca examinadora:

---

Schubert Ribeiro de Carvalho

Schubert Carvalho – PhD – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

---

Valente José Matlaba

Valente Matlaba – PhD – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

---

Cleidson Ronald Botelho de Souza

Cleidson de Souza – PhD – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

## **ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

O presente trabalho encontra-se organizado sob a forma de relatório técnico, como disposto no Regulamento Interno do Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do ITV DS.

### **Relatório técnico:**

**Desenvolvimento de Modelo de Treinamento Cognitivo para Operadores de Escavadeira do Complexo Eliezer Batista Mina S11D, em Canaã dos Carajás**

### **Sob autoria de**

Guilherme de Souza Cruz, Schubert Riberio de Carvalho, Antonio Pereira

Aos meus avós, Artur Rodrigues de Souza e Maria de Lourdes Brito de Souza, que não puderam presenciar essa conquista.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por ter me dado capacidade de chegar até aqui.

Ao Instituto Tecnológico Vale pela oportunidade e pelo incentivo.

Aos professores que passaram seu conhecimento de forma tão eficaz.

Ao meu orientador, prof. PhD Schubert Carvalho, pelos conselhos, orientações, compartilhamento de conhecimento que me proporcionou nessa jornada.

Ao meu co-orientador, prof. Dr Antonio Pereira, pelo conhecimento compartilhado no grupo de seminários de pesquisas da Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica – Instituto de Tecnologia, da Universidade Federal do Pará.

Aos meus colegas Ana Carolina Siravenha, Mylena Reis e Iraquitan Cordeiro, pelos momentos e conhecimentos compartilhados.

A minha família e minha esposa que sempre me apoiaram e nunca desistiram de mim.

Veni, vidi, vici

(Júlio Cesar)

## RESUMO

O objetivo desse estudo foi desenvolver e validar experimentalmente em simulador de realidade virtual e em testes laboratoriais, uma metodologia de treinamento cognitivo de curta duração (cinco dias). Esse treinamento foi usado como ferramenta de modulação neural direcionada à tarefa, ou seja, operadores de escavadeira do Complexo Eliezer Batista da mina S11D aprenderam a modular suas ondas cerebrais dentro de uma faixa de frequência (ritmo sensório motor (SMR) [12-15]Hz) previamente associada com o aumento de desempenho operacional. Durante o treinamento eles receberam *feedback* do seu progresso, processo esse conhecido como treinamento com *neurofeedback*. A proposta desse estudo é original, pois ela visa aumentar o desempenho de operadores de escavadeira do complexo Eliezer Batista S11D (operação de máquinas pesadas) e porque o protocolo de intervenção será desenvolvido para ser aplicado em cinco dias. O presente estudo utiliza sinais de eletroencefalografia (EEG) como medida de modulação neural. Durante as rotinas de *neurofeedback*, a atividade cerebral foi monitorada usando um dispositivo com eletrodos secos e comunicação bluetooth, o que deixa o operador livre para realizar a operação. Foi então investigada a existência de uma associação entre o aprendizado do controle neural e a produção do indivíduo em toneladas por hora (ton/h) de minério de ferro em ambiente de realidade virtual. Foi possível notar uma diferença estatisticamente significativa em relação a produtividade dos operadores antes e depois da intervenção. Corroborando assim, com a importância e eficácia do treinamento utilizando neurofeedback.

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



## ABSTRACT

The main goal of this study was to develop and experimentally validate under laboratory tests and virtual reality, a cognitive training methodology of short duration (five days). This training was used as a neural modulation tool, directed to task, that is, excavator operators of Complexo Eliezer Batista at the S11D mine have learned to modulate their cerebral waves within a frequency range (sensory motor rhythm (SMR) [12-15] Hz) previously associated with the operational performance gain. During the training they received a feedback of their progress, process known as neurofeedback training. This study proposal is original, as it aims to increase operator's performance at the Complexo Eliezer Batista S11D (heavy machines operation) and for the fact that this intervention protocol was developed to be applied in five days. The present study uses signs of electroencephalography (EEG) as a neural modulation measure. During the neurofeedback routine, the brain activity was monitored using a device with dry electrodes and Bluetooth communication, leaving the operator free to realize the operation. Then an association between the neural control learning and its productivity in ton/h of iron ore was investigated under virtual reality environment. It was possible to notice a statistically significant difference regarding the operator's productivity before and after the intervention. Corroborating so, with the importance and efficacy of the neurofeedback training.

**Keywords:** Electroencephalography (EEG), *Neurofeedback*, sensory motor rhythm (SMR), cognitive training.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Complexo minerador de Carajás.....	16
<b>Figura 2 -</b>	Simulador de realidade virtual da Vale.....	27
<b>Figura 3 -</b>	Demonstrativo da área de foco do treinamento cognitivo.....	32
<b>Figura 4 -</b>	Teste de Stroop.....	33
<b>Figura 5 -</b>	Treinamento Cognitivo (TC).....	34
<b>Figura 6 -</b>	Posicionamento de eletrodos de acordo com o sistema 10-20.....	34
<b>Figura 7 -</b>	Simulador de realidade virtual da Vale.....	36
<b>Figura 8 -</b>	Demonstrativo da área de foco do treinamento cognitivo.....	37
<b>Figura 9 -</b>	Teste de Stroop.....	37
<b>Figura 10 -</b>	Treinamento Cognitivo (TC).....	38
<b>Figura 11 -</b>	Complexo minerador de Carajás.....	39
<b>Figura 12 -</b>	Simulador de realidade virtual da Vale.....	40
<b>Figura 13 -</b>	Demonstrativo da área de foco do treinamento cognitivo.....	40

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 -</b>	Associação das bandas de frequência com as principais funções encontradas na literatura .....	22
<b>Tabela 2 -</b>	Estudos que obtiveram resultados promissores utilizando Neurofeedback e desempenho.....	23
<b>Tabela 3 -</b>	Modelo experimental “Before and after” .....	27
<b>Tabela 4 -</b>	Cálculo do método de diferença em diferenças .....	28

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

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

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Gamma$  Letra grega Gama

$\Delta$  Letra grega Delta

$\Theta$  Letra grega Teta

$\alpha$  Letra grega Alfa

$\beta$  Letra grega Beta

# SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1.	HIPÓTESE.....	18
1.2.	OBJETIVOS.....	18
1.2.1.	Objetivo Geral.....	18
1.2.2.	Objetivos Específicos.....	18
1.3.	Contribuição da Pesquisa.....	19
2.	<b>REFERENCIALTEÓRICO</b> .....	<b>20</b>
2.1.	NEUROFEEDBACK.....	20
2.2.	Protocolos de Treinamento.....	21
2.3.	Protocolo de Treinamento Alfa.....	22
2.4.	Protocolo de Treinamento Beta.....	23
2.5.	Protocolo de Treinamento do Ritmo Sensório Motor (SMR).....	24
2.6.	Protocolo de Treinamento Teta.....	24
2.7.	Protocolo de Treinamento Alfa/Teta.....	25
3.	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>26</b>
3.1.	Grupos de Estudo.....	26
3.2.	Aquisição de dados.....	26
3.3.	Diferenças em Diferenças.....	27
4.	<b>METODOLOGIA DE TREINAMENTO COGNITIVO E CONFIGURAÇÃO DO EXPERIMENTO</b> .....	<b>29</b>
4.1.	Grupo de treinaMENTO.....	29
4.2.	Grupo controle.....	30
4.3.	Protocolo de Treinamento.....	31
4.4.	Teste de stroop.....	32
4.5.	Treinamento cognitivo.....	33

<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
5.1.	Teste de Stroop.....	35
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>36</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>38</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>44</b>

## 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 grandes porte, como as escavadeiras, guas 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.

### 1.1. HIPÓTESE

A hipótese principal foi avaliar o impacto do treinamento com neurofeedback na produtividade dos operadores de escavadeira.

### 1.2. OBJETIVOS

#### 1.2.1. Objetivo Geral

Desenvolver, testar e validar uma metodologia de treinamento com neurofeedback utilizando EEG com tempo reduzido, visando aumento de produtividade de operadores de escavadeira na mina S11D, medido no simulador de realidade virtual

#### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar se o treinamento do ritmo sensório motor com neurofeedback favorece o aumento de desempenho na operação de escavadeira;
- Avaliar se o número de sessões de treinamento e a duração de cada intervenção colaboram para o aumento de desempenho de cada operador;
- Avaliar se um treinamento com neurofeedback de curta duração foi suficiente para provocar mudanças na produtividade de cada operador.

### 1.3. CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA

A principal contribuição desta pesquisa foi a elaboração de uma metodologia de treinamento cognitivo, voltada para operadores de máquina de grande porte. A metodologia focou no aperfeiçoamento de habilidades cognitivas, associadas ao aumento de performance dos operadores de escavadeira, utilizada na extração de minério de ferro.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. NEUROFEEDBACK

Acredita-se que o estudo do treinamento de padrões cerebrais, teve início em meados dos anos sessenta, objetivando condicionar um estado de “relaxamento” mental (meditação) nos indivíduos testados (KAMIYA, 2011). Em estudos realizados para tratar epilepsia e problemas de transtorno de déficit de atenção e hiperatividade (ADHD) (EVANS, 2007; HAMMOND, 2011), os participantes aprenderam a alterar sua atividade cerebral e também tiveram um retorno visual de sua modulação mental durante o treinamento - um processo conhecido como *neurofeedback*. Durante as rotinas de *neurofeedback*, a atividade cerebral é monitorada com EEG e os participantes visualizam sua atividade cerebral em uma tela em tempo real, de modo que eles possam aprender com maior rapidez a regular sua atividade neural (GRUZELIER, 2014).

O processo de recondicionamento cerebral baseado em mecanismos de neuroplasticidade, no caso do *neurofeedback*, é feito através da modulação de determinadas faixas da frequência cerebral do sinal EEG. As frequências cerebrais são classicamente divididas em intervalos, como Delta ( $\delta$ ), Teta ( $\theta$ ), Alfa ( $\alpha$ ), Beta ( $\beta$ ) e Gama ( $\gamma$ ), de acordo com a Tabela 1. Cada faixa está associada a um conjunto de funções cerebrais e comportamentais. Em estudos relacionados com desempenho esportivo ou cognitivo, é comum usar protocolos de treinamento para as faixas Teta, Alfa e Beta no intervalo de 4 a 30Hz (VERNON,2005).

Existem evidências na literatura de que a técnica de *neurofeedback* bem sucedida nas mais variadas aplicações (COBEN; ARNS; KOUIJZER, 2011; BOULAY et al., 2011; ROS et al., 2009; LANDERS et al., 1991; TAYLOR et al., 2009). No âmbito da medicina, o tratamento de autismo, TDAH, epilepsia e dislexia são realizadas sessões com o auxílio desta técnica de treinamento cerebral (COBEN; ARNS; KOUIJZER, 2011). Não obstante, há também estudos que utilizam este método com objetivo de melhorar o tempo de reação (BOULAY et al., 2011), a performance em arqueiros (LANDERS et al., 1991), habilidades médicas (ROS et al., 2009) e com o propósito de diminuir a taxa de erros humanos (LAWRENCE et al., 2002).

Um dos grandes desafios do *neurofeedback* é comprovar a sua eficácia no condicionamento cognitivo. Uma das formas de validar sua eficácia é através da

aplicação de testes comportamentais antes e depois ao treinamento, verificar se a eficácia pode ser medida pela diferença de desempenho alcançada antes e depois das intervenções de treinamento cognitivo. Existe uma gama de testes comportamentais, cada um utilizado para um fim específico. Por exemplo, o “Teste de performance contínua”, é usado quando para avaliar a quantidade de erros cometidos em uma tarefa, “Teste de rotação mental”, quando o objetivo é de capturar a dimensão e percepção do espaço, ou seja, a capacidade de imaginar objetos e de girá-los mentalmente se necessário; “Teste de amplitude conceitual” pode ser utilizado para medir o componente semântico da memória de trabalho (GRUZELIER, 2014; GREENBERG et al., 2018; VERNON et al., 2003). Neste estudo, foram usados testes comportamentais realizados em ambiente de realidade virtual que simulam a operação de escavadeira, onde parâmetros de desempenho foram usados para quantificar a evolução dos indivíduos antes e depois das intervenções com *neurofeedback*.

O tempo de treinamento pode ser determinado a partir de um conjunto de fatores que envolvem o perfil do usuário, como por exemplo, a individualidade de seus sinais biológicos, sua condição cognitiva, e a administração de medicamentos. Embora alguns estudos relatem semanas ou meses de treinamento (VERNON et al., 2003; GRUZELIER, 2014) para se ter o efeito desejado, a duração de uma semana com sessões diárias de treinamento pode ser suficiente para apresentar resultados positivos (ZOEFL; HUSTER; HERRMANN, 2011). Treinamentos com apenas uma intervenção com sessões com duração entre 45-75 minutos já foram realizadas com sucesso (GRUZELIER, 2014; LANDERS et al., 1991).

## 2.2. PROTOCOLOS DE TREINAMENTO

A Tabela 2 mostra estudos que se basearam no uso de treinamentos cognitivos, com intuito de melhorar do desempenho das funções cognitivas, com informações dos eletrodos utilizados no EEG, faixas de EEG treinadas, o tipo de treinamento utilizado e outras informações. As subseções seguintes descrevem os treinamentos mais usados na literatura com *neurofeedback*. A Tabela 1 mostra as faixas de frequência cerebrais e as principais funções associadas a elas, incluindo o ritmo sensorio motor.

**Tabela 1** - Associação das bandas de frequência com as principais funções encontradas na literatura

Banda	Faixa de frequência (Hz)	Funções
Delta ( $\delta$ )	0-4Hz	Navegação, consolidação de memória, discriminação visual, antecipação
Theta ( $\theta$ )	4-8Hz	Navegação, integração sensório motora, controle motor, controle emotivo
Alfa ( $\alpha$ )	8-12Hz	Comumente ligado ao relaxamento, estado de calma
Alfa 1 ( $\alpha$ 1)	8-10Hz	Memória
Alfa 2 ( $\alpha$ 2)	10-12Hz	Tomada de decisão, processamento de informação
Beta ( $\beta$ )	13-30Hz	Fadiga, imagem motora
Beta 1 ( $\beta$ 1)	13-19Hz	Tempo de resposta
Beta 2 ( $\beta$ 2)	19-30Hz	Intensidade, hiperatividade, ansiedade
Gama ( $\Gamma$ )	30-100Hz	Memória de trabalho e associativa
Gama 1 ( $\Gamma$ 1)	30-60Hz	
Gama 2 ( $\Gamma$ 2)	60-100Hz	
Mu( $\mu$ )	8-12Hz	Está presente quando o corpo está em repouso, mas é "suprimido" ou "bloqueado" quando o indivíduo realiza uma ação motora
SMR	12-15Hz	Atenção prolongada e seletiva, memória, performance cognitiva

**Fonte:** Autoral

### 2.3. PROTOCOLO DE TREINAMENTO ALFA

As oscilações da onda cerebral alfa tem maior prevalência em adultos e sabe-se que a energia alfa é melhor percebida na região parietal. Na análise espectral é observada como um pico de energia na faixa de frequência entre [8-15] Hz, podendo ser dividida em duas sub-bandas, inferior [8-11] HZ e superior [11-15] HZ. As ondas alfa estão associadas com estados de prontidão e relaxamento (KLIMESCH, 1999; EVANS; ABARBANEL, 1999).

Diversos estudos apresentam treinamentos com *neurofeedback* nessa banda visando a melhoria de diversas habilidades cognitivas. Tendo como foco o incremento de performance cognitiva, (ZOEFL; HUSTER; HERRMANN, 2011) recrutaram vinte

e quatro sujeitos, sendo que quatorze foram submetidos ao treinamento da banda alfa (grupo 1) e o restante foi alocado para o grupo controle (grupo 2). Os sujeitos do grupo 1 fizeram o treinamento durante cinco sessões em blocos de 5 minutos por uma semana. Antes e depois de cada sessão eram feitos registros de 5 minutos para estabelecer uma linha de base. As sessões de *neurofeedback* foram baseadas na apresentação de retângulos coloridos na tela onde suas cores eram modificadas de acordo com a energia do sinal. Foi verificado que o aumento da energia em alfa estava correlacionado com um aumento de performance cognitiva após o treinamento. Outros trabalhos também apresentam as melhorias resultantes de treinamento em alfa, como melhoria na memória de trabalho (HSUEH et al., 2016) e melhoria de desempenho motor em pacientes que sofreram AVC (MOTTAZ et al., 2015).

**Tabela 2** - Estudos que obtiveram resultados promissores utilizando Neurofeedback e desempenho

Estudo	Objetivo	Banda de frequência	Treino Realizado	Nº de Sessões/Duração	Eletrodos
Bulay et al., 2011	Verificar influência no comportamento motor com ondulação SMR	SMR	Tempo de reação Movimento de cursos Combinação dos anteriores	2-3 sessões por semana 8 períodos de 3 min 1 min de pausa	C3
Vernon et al., 2003	Melhorar tarefas cognitivas	SMR	Teste de atenção Extensão conceitual	8 sessões/ 4 semanas 5 períodos de 3 min	Cz
Zoefel et al., 2011	Treinar alfa superior e examinar o impacto em habilidades cognitivas	Alfa (11-15Hz)	Teste de performance cognitiva	5 sessões em 1 semana 5 períodos de 5 min	P3, Pz, P4, O1 e O2
Wang; Hsie., 2013	Investigar eficácia da atividade teta no desempenho de atenção e memória de trabalho	Teta	Teste de rede atencional e tarefa de reconhecimento	12 sessões/4 semanas	Fz
Landers et al., 1991	Determinar se o treinamento com biofeedback melhora o desempenho de arqueiros profissionais	Alfa e Beta	Teste de desempenho e concentração	1 sessão 45-75 min	T3 e T4
Egner; Gruzelier., 2001	Elucidar efeitos de comportamento e mediadores neurofisiológicos	Teta, SMR, Beta1 e Beta2	Teste auditivo oddball Teste atencional	10 sessões/5 semanas 15 min cada sessão	C3, C4 e Fz
Sterman et al., 1994	Avaliar componentes funcionais de condições de controle em tarefas de simulação de voo	Alfa, SMR	Olhos fechados, condição de controle visual, condição de controle de movimento, teste no simulador de aeronave.	2 sessões de aprox. 15 minutos cada	T5, P3, Pz, P4, T6, F4, C3 e C4
Reiner et al., 2014	Explorar os processos de consolidação da memória durante horas acordadas	Teta e Beta	Teste de performance, treinamento motor	1 sessão de 30 min	Pz
Jurewicz et al., 2018	Determinar a eficácia do neurofeedback em população saudável	Alfa, Teta e Beta	Desempenho atencional, teste de performance, teste de atenção antecipatória	16 sessões/2 meses 10 blocos de 3 min cada	F3, F4, P3 e P4
Gruzelier et al., 2014	Comparar a eficácia do neurofeedback nas bandas alfa/teta e SMR	Alfa, Teta e SMR	Avaliação de performance musical	10 sessões 1-2meses	Cz e Pz

Fonte: Autoral

## 2.4. PROTOCOLO DE TREINAMENTO BETA

Atividades cerebrais na faixa beta, geralmente entre [12-30] Hz, estão relacionadas a performance mental (EGNER; GRUZELIER, 2004). A banda beta também é caracterizada como responsável por funções que exigem atenção e foco. Foi verificado um aumento na energia da banda beta durante um período antecipatório

em uma tarefa de diferenciação espacial visual apenas em tentativas que resultaram em respostas corretas. A atividade na banda beta serve como um mecanismo de ativação que pode melhorar o ganho em fases subsequentes de processamento de informações visuais (JUREWICZ et al., 2018; GOLLA et al., 2013; WRÓBEL, 2014). Protocolos de treinamento focados na faixa beta são utilizados para treinar diversos aspectos cognitivos sugerindo melhorias em tarefas de foco e atenção, memória de trabalho, melhora em performances artísticas, como dança e música (EGNER; GRUZELIER, 2004; VERNON, 2005).

## 2.5. PROTOCOLO DE TREINAMENTO DO RITMO SENSORIO MOTOR (SMR)

O ritmo sensorio motor (SMR) inclui parte dos espectros de frequência alfa e beta ([12-15] Hz). São mais evidentes em eletrodos localizados na região central do escalpo e estão relacionados com movimento e imagética motora. O treinamento SMR, em combinação com o condicionamento operante de componentes mais altas da banda beta, como [15-18] Hz

(beta1), o condicionamento operante e supressão da atividade mais lenta [4-8] Hz (teta), foi utilizado para aliviar a desordem do déficit de atenção, sintomas de transtorno de hiperatividade com eficácia comparável à da medicação estimulante (EGNER; GRUZELIER, 2001). De acordo com (CHERON et al., 2016; HAMMOND, 2011), o SMR está diretamente relacionado com várias funções cerebrais que serão corroboradas com os objetivos deste estudo, como: associação sensorio motora, fadiga, imagens motoras e performance cognitiva. Desta forma, iremos explorar protocolos de treinamento do ritmo sensorio motor, visando o aumento de habilidades cognitivas, que possam favorecer um melhor desempenho na operação de escavadeira.

## 2.6. PROTOCOLO DE TREINAMENTO TETA

A onda teta, [4-7] Hz, relaciona-se a vários tipos de atividade cerebral como memória, emoção, criatividade e sono. É associada com as fases iniciais do sono quando a pessoa está em sono leve e acorda com facilidade. A atividade na faixa teta, influencia no mecanismo celular da memória, facilitando na potencialização a longo prazo, também está associada a capacidade de manter informações em mente



temporariamente em favor da compreensão, pensamento e planejamento (VERNON, 2005).

Utilizando sessões relativamente curtas de *neurofeedback* na faixa teta, aliado com boas noites de sono, é possível melhorar os processos de consolidação da memória. Como implicações práticas disso é sugerida uma tecnologia em potencial para melhoria da consolidação da memória e uma possível via de aprimoramento da memória na área educacional e clínica. Os processos envolvendo consolidação de memória, estão relacionados de maneira estreita com a melhoria das funcionalidades cognitivas (REINER; ROZENGURT; BARNEA, 2014).

## 2.7. PROTOCOLO DE TREINAMENTO ALFA/TETA

O protocolo de treinamento alfa/teta, envolve o registro da ocorrência de atividade alfa e teta no EEG, enquanto o participante tenta relaxar com os olhos fechados. A produção de teta, com olhos fechados, é um acompanhamento bem conhecido dos estados de relaxamento profundo, como o sono do estágio 1, a meditação e a hipnose (GRUZELIER, 2009). Além do uso no tratamento de distúrbios mentais como ansiedade e depressão (EVANS; ABARBANEL, 1999), protocolos alfa/teta foram utilizados para avaliar a melhoria em performances artísticas (GRUZELIER et al., 2014a; GRUZELIER et al., 2014b).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. 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.

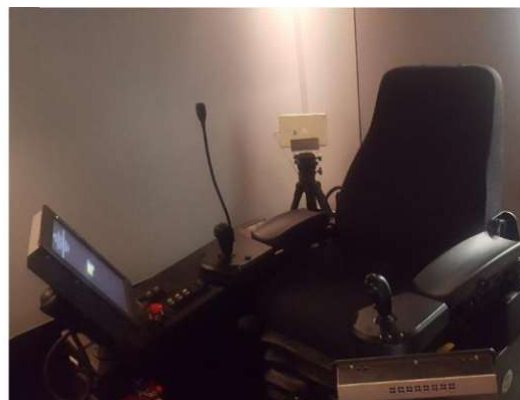
#### 3.2. AQUISIÇÃO DE DADOS

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



(b) Ambiente de controle no simulador

**Fonte:** registro Autoral, 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

**Tabela 3** - 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	

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  $dx = bx - ax$ .

**Fonte:** Autoral, 2019.

### 3.3. DIFERENÇAS EM DIFERENÇAS

O 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 no grupo de tratamento. Podendo ser calculada da seguinte maneira:  $DD = (B - D) - (A - C)$ . Adaptando ao contexto deste trabalho, significa dizer que, o impacto da intervenção é igual a diferença de produtividade do grupo que passou pelo treinamento, menos a diferença de produtividade do grupo controle. Esse procedimento é realizado conforme a tabela abaixo (Tab. 4).

**Tabela 4** - 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, tratamento e controle, necessitam ter as mesmas condições antes da intervenção para a utilização deste método. O cálculo do impacto é feito da seguinte maneira:

- É obtido o resultado da produtividade pós intervenção – pré-intervenção do grupo de tratamento ( $B - A$ )
- Posteriormente, o resultado da produtividade pós intervenção – pré-intervenção do grupo controle ( $D - C$ )
- Por fim, é obtido o valor de DD através da operação  $DD = (B - A) - (D - C)$

Lembrando que DD significa o impacto que o TC causou na produtividade dos operadores.

## 4. METODOLOGIA DE TREINAMENTO COGNITIVO E CONFIGURAÇÃO DO EXPERIMENTO

### 4.1. 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

#### 4.2. 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 realizado 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.

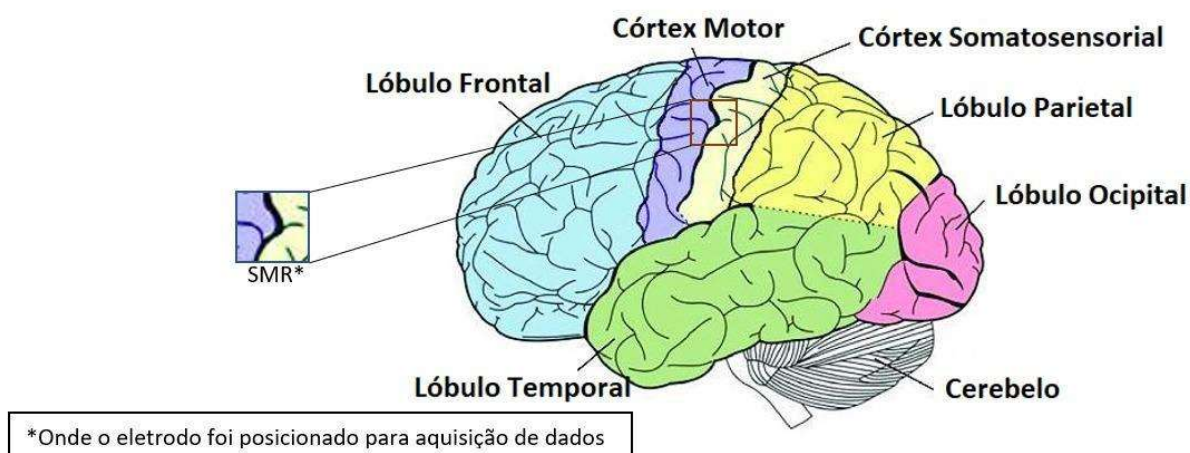
#### 4.3. PROTOCOLO DE TREINAMENTO

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

#### 4.4. 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

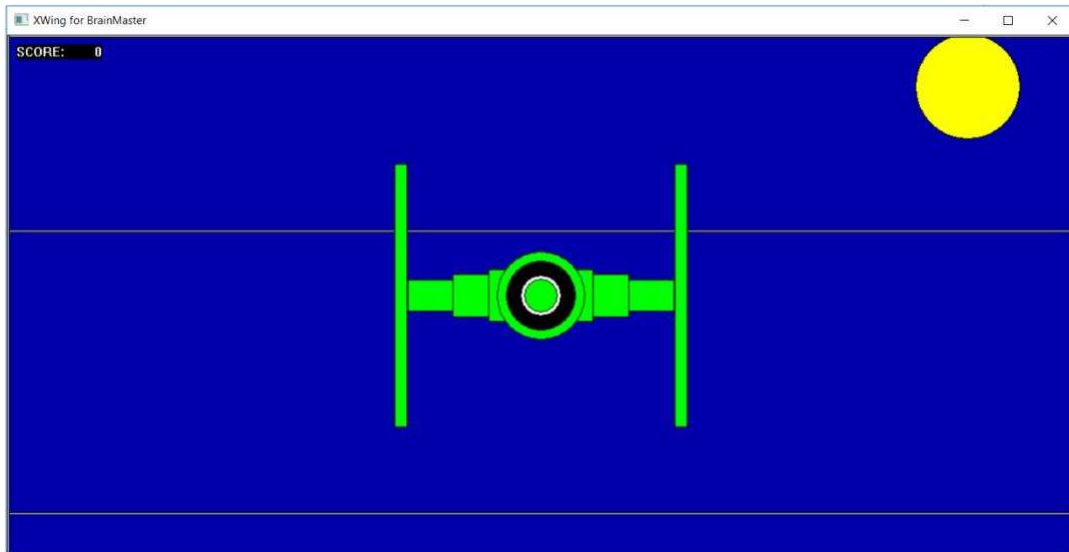


Fonte: Autoral, 2019

#### 4.5. 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.

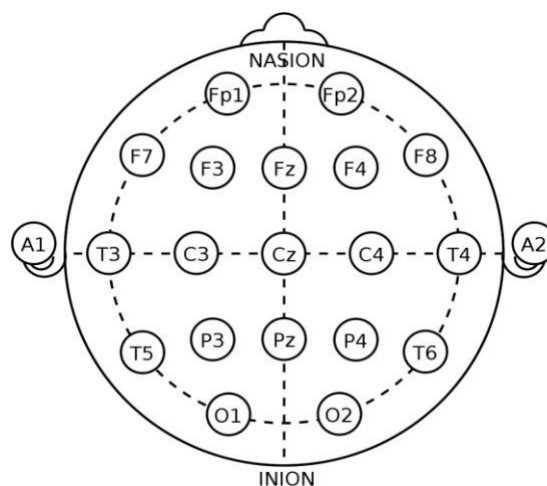
Figura 5 - Treinamento Cognitivo (TC)



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.

## 5. RESULTADOS

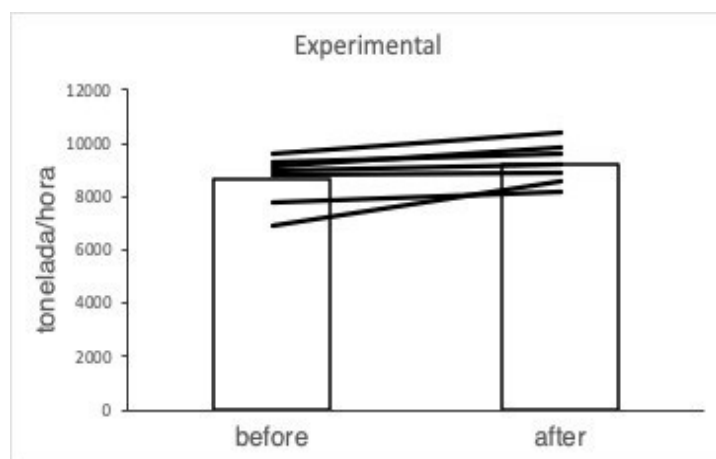
Esta sessão apresenta e discute os resultados obtidos provenientes da intervenção do treinamento cognitivo (TC), proposto nesta dissertação de mestrado. É importante ressaltar que os dados de produtividade foram obtidos no simulador de realidade virtual da Vale.

A Figura 6 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.

### 5.1. 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)

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

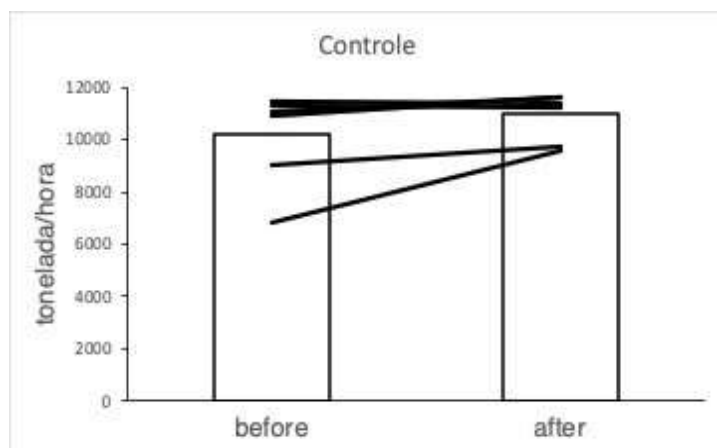


Fonte: Autoral

A Figura 8 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  $\geq 10.000$  ton/h), o que veio a prejudicar a análise comparativa com o grupo de treinamento, devido a amostra não ser homogênea.

A Figura 8 mostra, em medidas percentuais, o aumento de performance de cada dos operadores do grupo controle (Figura 9 (a)) e do grupo de tratamento (Figura 9 (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.

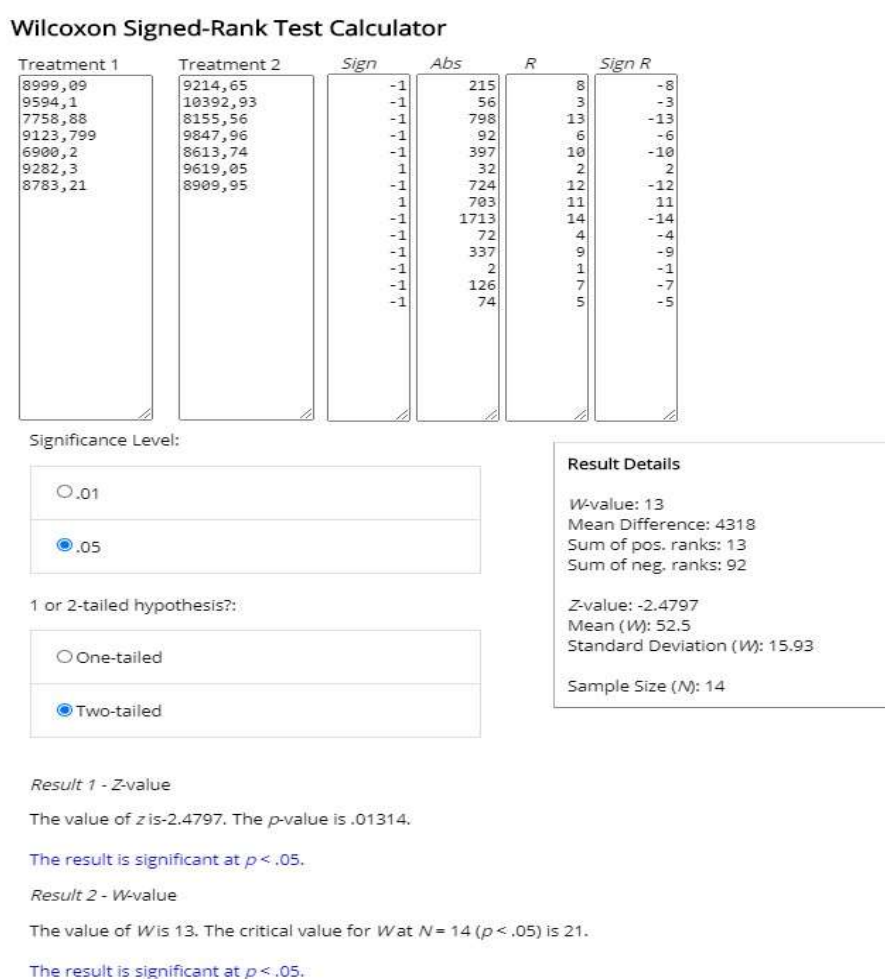
Os resultados do método de diferenças em diferenças foram calculados utilizando os dados de produtividade dos operadores, antes e depois do treinamento (grupo de treinamento), e na primeira e segunda sessão (grupo controle).

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. 9).

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 ( $W = 37$ ;  $Z = -0.97$ ;  $p < 0.33$ ).

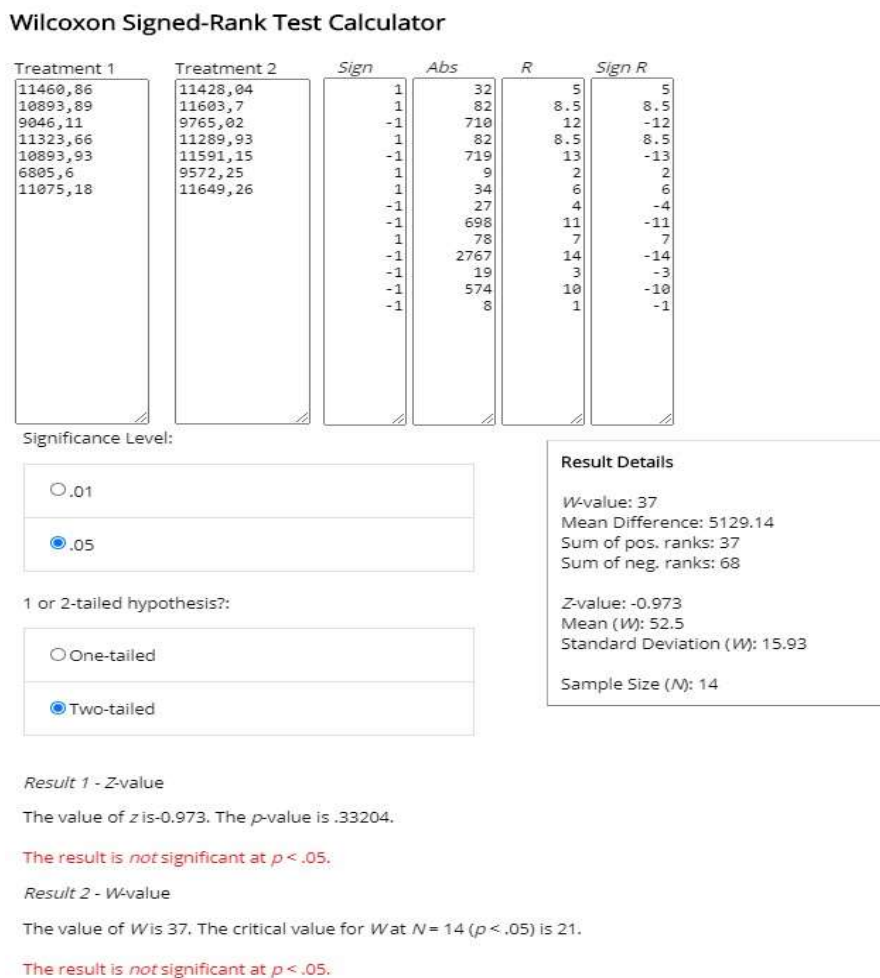
Figura 10 - Teste de Wilcoxon do grupo experimental



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.

Figura 11 - Teste de Wilcoxon do grupo controle



Fonte: Autoral, 2020.

A Figura 12 mostra o modelo confeccionado com base na variável produtividade (ton/h) dos operadores. 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.

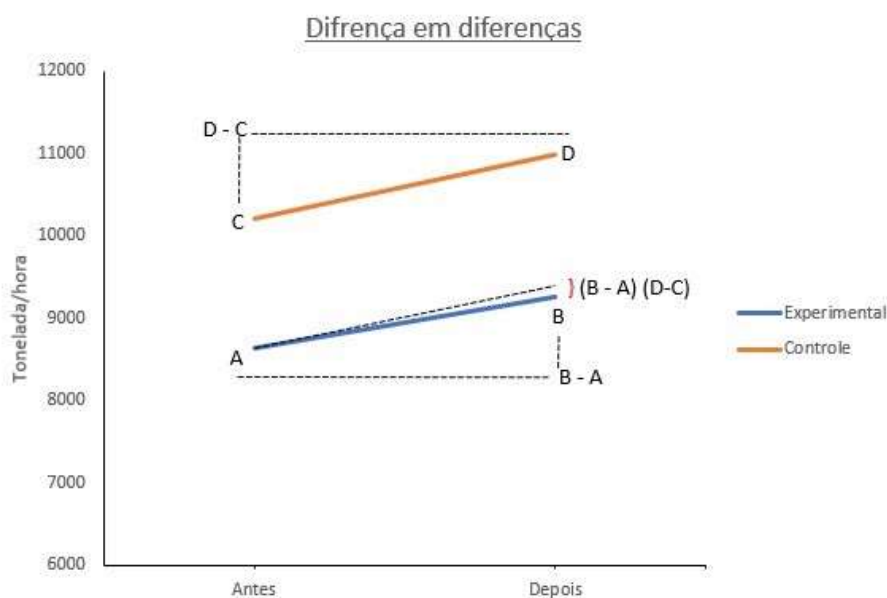
Na figura 13, é mostrada uma análise gráfica do método de diferença em diferenças, evidenciando a melhora do grupo de treinamento pós intervenção.

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.



## 5. 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 Juridica - Ricardo Castilho.pdf*. 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*, Frontiers, 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*, v. 159, p. 421–431, 2006.

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. EEG-neurofeedback for optimising performance. I: A review of cognitive and affective outcome in healthy participants. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 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*. 1991. 123???129 p. Disponível em: <<https://insights.ovid.com/crossref?an=00005768-199101000-00018>>.

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*, 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*, 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, 2000. <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](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://vagasnotrecho.blogspot.com/2015/09/a-tsa-tem-oportunidades-para-projeto.html>. Acessado em 10/07/2020.

VERNON, D. *et al.* The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance. *International Journal of Psychophysiology*, Elsevier, 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>>.



## **APÊNDICE**

## **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**

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

**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)

C957	<p>Cruz, Guilherme de Souza  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 – Belém-PA, 2020.  38 p.: il.</p> <p>Relatório Técnico (Instituto Tecnológico Vale) – 2020  PROD.TEC.ITV.DS.N030/2020  DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2020.30.Cruz</p> <p>1. Eletroencefalografia (EEG) – Mina S11D - Carajás, Serra dos (PA).  2. Treinamento cognitivo - Operadores de Escavadeira - Carajás, Serra dos (PA.)  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

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

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> -	Modelo experimental “Before and after” .....	13
<b>Tabela 2</b> -	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

$\Gamma$  Letra grega Gama

$\Delta$  Letra grega Delta

$\Theta$  Letra grega Teta

$\alpha$  Letra grega alfa

$\beta$  Letra grega Beta



## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>11</b>
2.1.	Grupos de Estudo .....	11
2.2.	Aquisição de dados .....	12
2.3.	Diferenças em Diferenças .....	13
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA DE TREINAMENTO COGNITIVO E CONFIGURAÇÃO DO EXPERIMENTO .....</b>	<b>14</b>
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
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>20</b>
4.1.	Teste de stroop .....	26
<b>5.</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>27</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>29</b>
	<b>Apêndice A – Teste de Stroop fase 1 .....</b>	<b>36</b>
	<b>Apêndice B – Teste de Stroop fase 2.....</b>	<b>37</b>
	<b>Apêndice C – Teste de Stroop fase 3.....</b>	<b>38</b>

## 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.

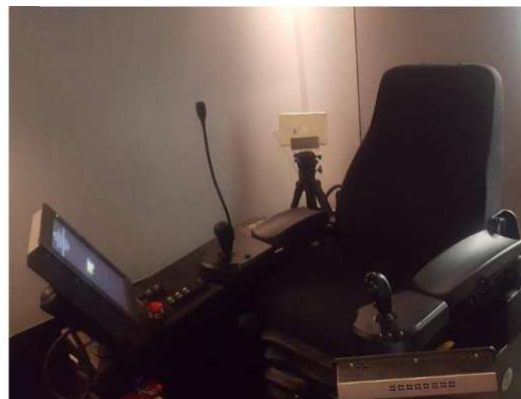
## 2.2. AQUISIÇÃO DE DADOS

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.

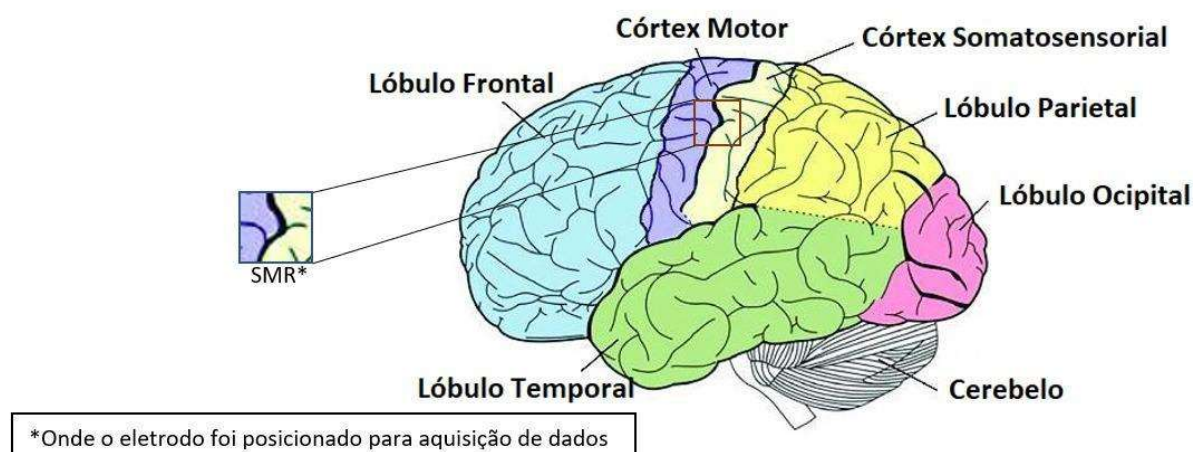
### 3.3. PROTOCOLO DE TREINAMENTO

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**

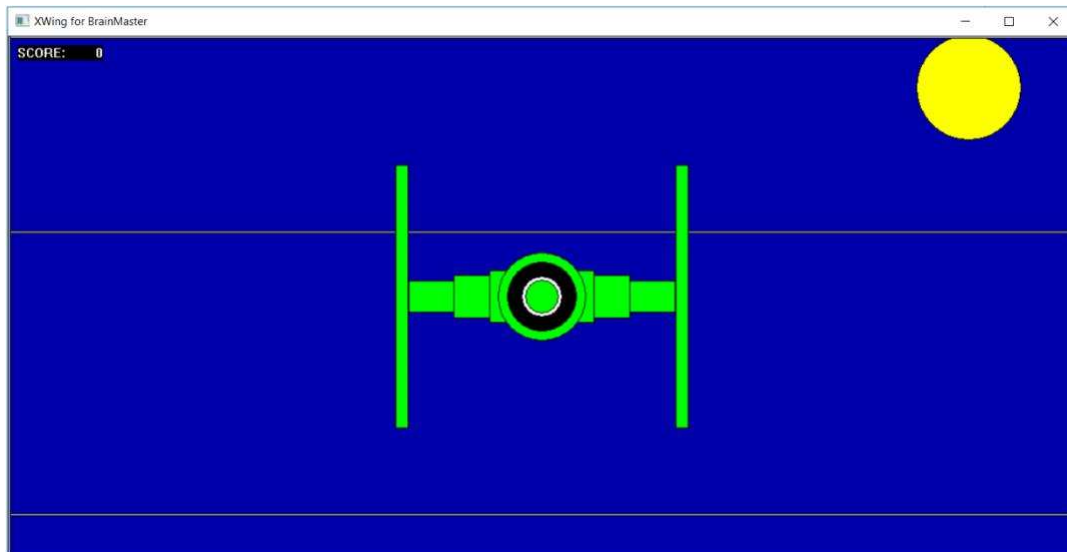


**Fonte:** Autorial, 2019

### 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.

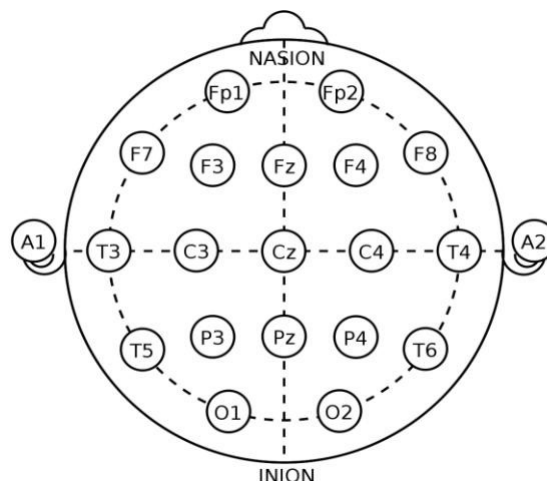
**Figura 5** - Treinamento Cognitivo (TC)



**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.

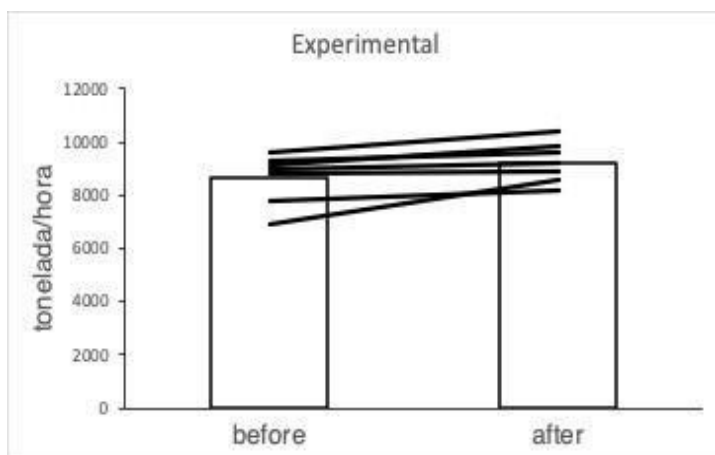
Outro ponto importante da metodologia proposta é saber em qual faixa dentro do espectro do SMR cada indivíduo responde melhor ao treinamento. A fim de ajustar a “melhor” frequência de treinamento para cada sujeito, as bandas de frequência serão alteradas dentro da faixa [12–15] Hz em larguras de banda 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

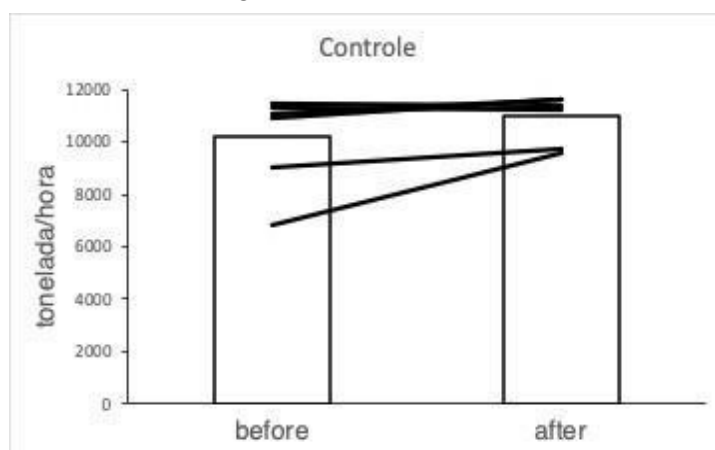


Fonte: Autoral

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  $\geq 10.000$  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 (%)

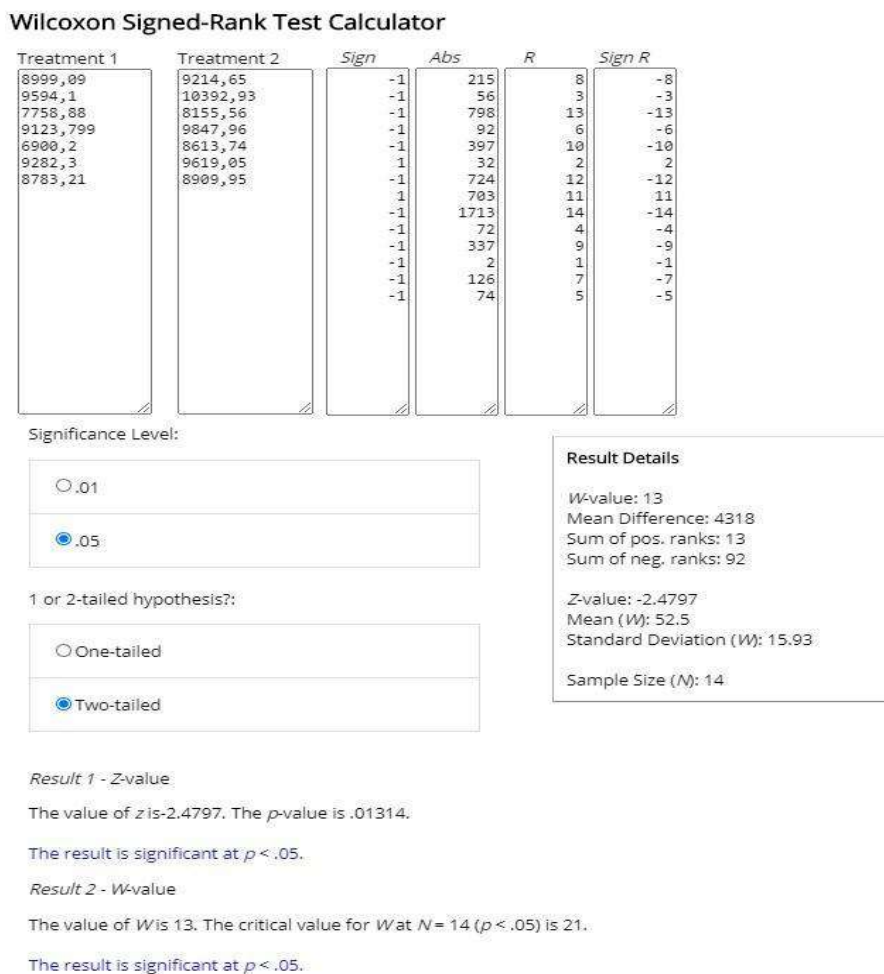
**Fonte:** Autorial, 2020.

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 "**dummies**" 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		

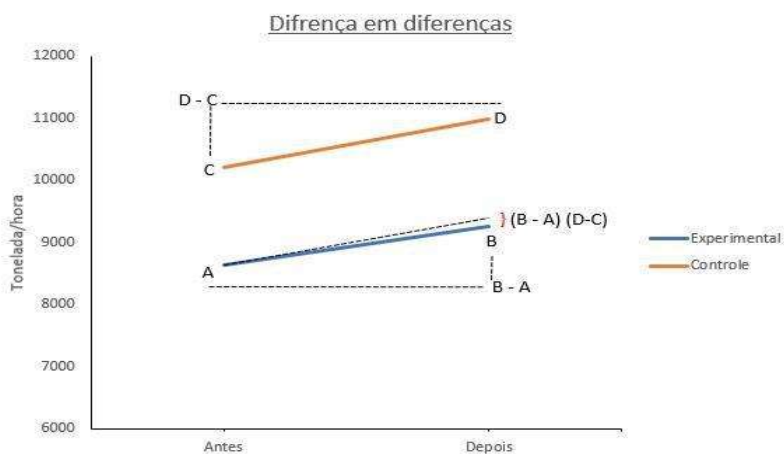
  

Outcome var.	produce	S. Err.	t	P> t
<b>Before</b>				
Control	1.1e+04			
Treated	9264.406			
Diff (T-C)	-1.7e+03	609.587	-2.82	0.009***
<b>After</b>				
Control	1.0e+04			
Treated	8634.511			
Diff (T-C)	-1.6e+03	609.587	2.59	0.016**
Diff-in-Diff	141.617	862.086	0.16	0.871

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-TEŠKE, 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](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.

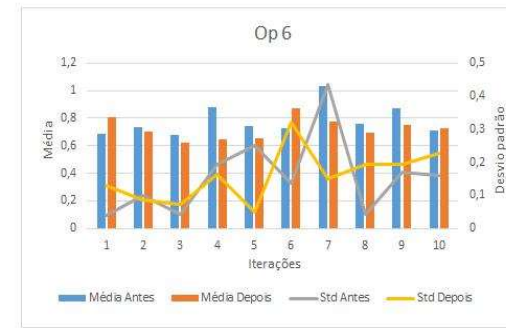
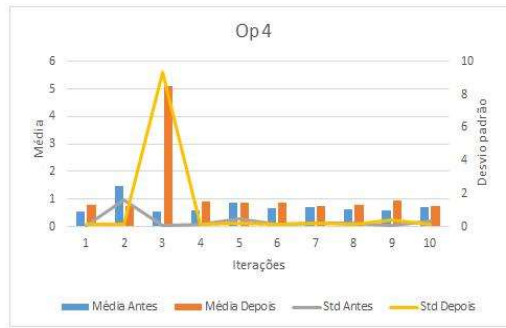
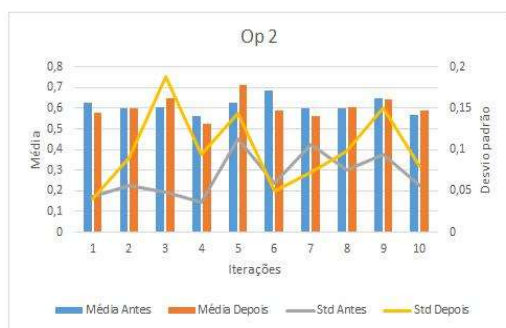
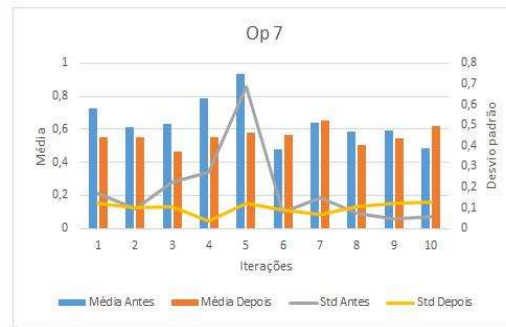
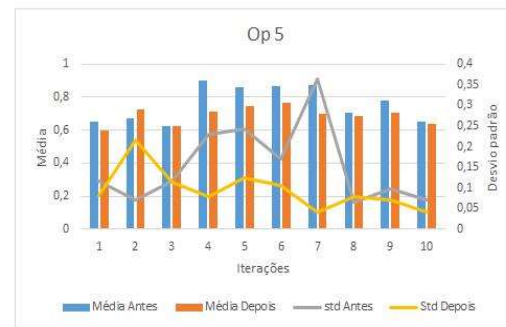
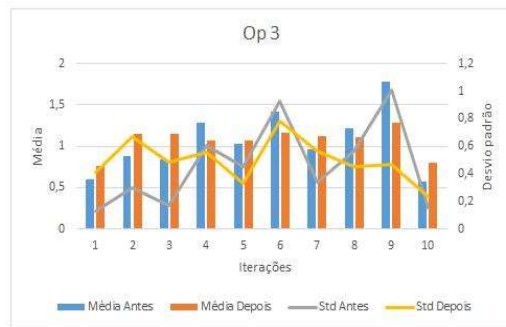
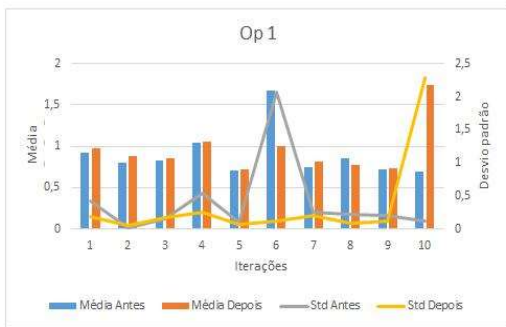
WRÓBEL, A. Attentional activation in corticothalamic loops of the visual system. *The New Visual Neurosciences (Werner JS, Chalupa LM, Eds). The MIT Press, Cambridge Mass, London, UK*, p. 339–349, 2014.

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**

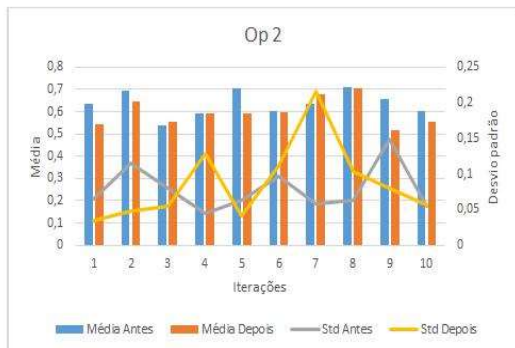
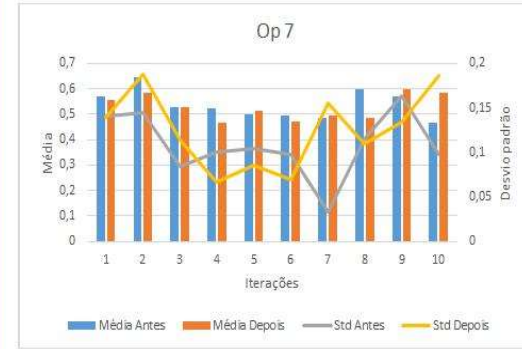
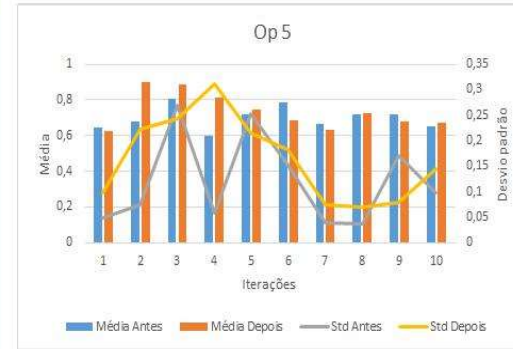
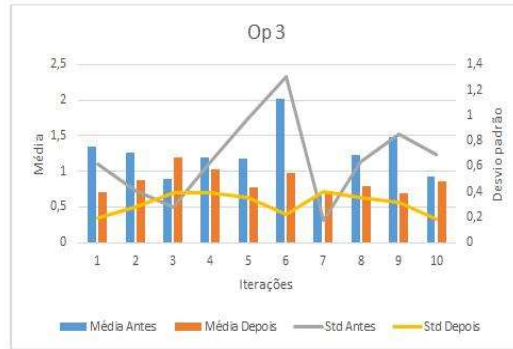
Apêndice A – Teste de Stroop fase 1

Teste 1



## Apêndice B -Teste de Stroop fase 2

### Teste 2



## Apêndice C – Teste de Stroop fase

### Teste 3

