



DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA AFIAÇÃO DE BROCAS COM INSERTOS DE METAL DURO PARA PERFURAÇÃO EM MINA DE CARVÃO MINERAL

Raul Varnier¹

Anderson Daleffe²

Resumo: Este artigo contempla o projeto, desenvolvimento e fabricação de um equipamento para atender as indústrias de mineração, com ênfase na importância da eficiência operacional na afiação das brocas de forma automatizada. O projeto adequado considerando os requisitos específicos para cada aplicação, resulta em maior produtividade e redução de custos de produção. São abordados aspectos como a seleção de materiais, a resistência aos esforços mecânicos e a durabilidade. Além disso, destaca-se a utilização de tecnologias avançadas, como a modelagem e a simulação por elementos finitos, para otimizar o projeto e a fabricação do equipamento.

Palavras-chave: Afiação de brocas. Projeto mecânico. Automatização.

1 INTRODUÇÃO

A globalização da economia e a acirrada competitividade do mercado têm levado as empresas a reduzir os custos de produção ao máximo, sem comprometer a qualidade do produto final. A eficiência na produção se tornou um desafio recorrente para as organizações que buscam se manter competitivas e isso demanda a otimização da sua produtividade, reduzindo consideravelmente os custos de produção e operação.

Na indústria de mineração, a perfuração é uma operação unitária que exerce elevada relevância e impacto no orçamento da indústria extrativa. Esta operação precede as demais e tem destaque na obtenção de resultados satisfatórios no desmonte e carregamento dos materiais, o que enfatiza a indispensável necessidade de aprofundar o conhecimento acerca dos principais parâmetros envolvidos [1].

¹ Mestrando em Engenharia Metalúrgica. E-mail: raul.varnier@hotmail.com

² Prof. Dr. Orientador, Centro Universitário UNISATC. E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br



Esta operação é indispensável para as indústrias de mineração, construção, extração de petróleo e água. Na essência, a perfuração é um processo de remoção de partículas de uma superfície de rocha através da aplicação de uma força mecânica [2].

No processo de desmonte de rochas, a operação de perfuração é a primeira a ser realizada com o intuito de obter furos no maciço rochoso para alojamento das cargas explosivas e os acessórios iniciadores. O procedimento mais simplório para realizar furos em uma rocha é golpeá-la, impactando sucessivamente a extremidade de uma barra de aço contra a superfície rochosa [3].

A eficiência da preparação de trabalhos de mineração está diretamente relacionada à produtividade das máquinas perfuratrizes, que fornecem a taxa necessária de realização dos trabalhos de mineração. Essa produtividade depende de vários fatores, incluindo propriedades físicas e mecânicas das rochas, modos e métodos de perfuração, qualidade das ferramentas de perfuração, profundidade e número de orifícios para explosão [4].

Na indústria de mineração há uma grande alocação de recursos financeiros destinados às obras relacionadas à trituração das rochas. O processo envolve impacto mecânico em rochas por meio de ferramentas especiais, com o objetivo de esmagá-las, o que pode gerar cargas significativas na própria ferramenta, dependendo das propriedades físico-mecânicas da rocha.

2 AFIAÇÃO E PERFURAÇÃO

A afiação desempenha um papel de extrema importância na atividade de perfuração, uma vez que a qualidade da afiação das brocas influencia diretamente o corte preciso e eficiente durante o processo. A afiação adequada das brocas desempenha um papel fundamental ao manter sua capacidade de penetração e reduzir o desgaste prematuro, resultando em uma vida útil mais longa e menor tempo de perfuração [5].

Esses benefícios têm um impacto significativo no aspecto financeiro, uma vez que a utilização de brocas adequadamente afiadas resulta em economia de custos, evitando substituições frequentes e permitindo maior produtividade. O emprego de práticas regulares e precisas de afiação, possibilita a otimização dos



processos de perfuração, melhorando a eficiência operacional e garantindo resultados de alta qualidade [6].

2.1 PERFURAÇÃO PARA DESMONTE E SUSTENTAÇÃO NA MINERAÇÃO

As indústrias de mineração e engenharia civil contam com ferramentas de perfuração para atividades que são classificadas em duas categorias, de acordo com a dimensão. A primeira categoria é composta por ferramentas utilizadas para fazer furos com baixas profundidades, destinados a receber cargas explosivas. A segunda categoria é composta por ferramentas maiores, empregadas em explorações geológicas e na perfuração de poços de minas [4].

A perfuração é uma etapa crucial no desmonte de rochas com explosivos, sendo responsável pelo sucesso das operações subsequentes, como detonação, carregamento, transporte e britagem. Sendo assim, a otimização da perfuração contribui no progresso dessas fases subsequentes. Uma perfuração indevida pode desencadear diversos problemas, como excesso de vibrações, fragmentação inadequada e excesso de ruídos [7].

A compreensão da formação geológica local é um princípio importante para a perfuração eficiente. A análise dos parâmetros geológicos, como tipo de rocha, terreno, clima, possibilidades de abalos sísmicos e preservação ambiental são fundamentais para determinar a técnica adequada para o processo. A abrasividade e a resistência específica da rocha são as principais propriedades a serem consideradas ao tomar decisões [8].

A perfuração de rocha é uma operação que envolve a sincronia de quatro movimentos: percussão, rotação, avanço e limpeza. O movimento de percussão é gerado por um martelo que transmite ondas de choque para a haste e pistão da broca, provocando o cisalhamento do material. A rotação é responsável por girar a broca e gerar impactos em diferentes posições na rocha. O avanço é exercido por um motor ou cilindro de avanço que mantém o contato constante da broca com a rocha, enquanto a limpeza é realizada por meio da aplicação de fluido para eliminar detritos do fundo do furo e garantir a eficácia da perfuração [9].



2.2 ESFORÇOS MECÂNICOS DURANTE O PROCESSO DE PERFURAÇÃO

No processo de perfuração, é imprescindível determinar o momento torçor e a força de avanço necessários para a rotação e avanço da ferramenta durante a operação determinada. O torque e a velocidade de corte estabelecem os valores de potência, enquanto a força de avanço determina a rigidez e a resistência da máquina de operação [10].

O aquecimento da broca é causado principalmente pela perfuração, atrito e desgaste da broca e rocha. Esse aumento de temperatura é composto pela energia térmica gerada pela ruptura por cisalhamento da rocha sob a ação da aresta de corte da broca e pelo atrito entre a broca e a rocha, incluindo os detritos não descarregados a tempo [4].

2.3 DESGASTE DAS PASTILHAS DA BROCA DE MINERAÇÃO

O ângulo agudo é o parâmetro que mais afeta o desgaste da cabeça e a vida útil da broca. Outros parâmetros, incluindo a solidez da rocha e do solo, o ângulo de rotação e o material de perfuração, também afetam o desgaste da broca e têm um significado prático na produtividade. No entanto, essa variação não é tão significativa em relação à variação da intensidade do desgaste de acordo com a resistência da rocha. O conhecimento do efeito do ângulo agudo sobre a vida útil da broca é fundamental para aumentar a produtividade e reduzir os custos de operação na indústria [4].

A seleção da broca e da prática de operação correta são fatores relevantes para otimização do processo de perfuração. O domínio da leitura do desgaste e os aspectos do ferramental é essencial para a obtenção de bons resultados e maximizar o rendimento. Para aumentar a eficiência de britagem de rocha por meio de ferramentas de mineração, é possível recorrer a diversos meios. Dentre eles, destacam-se a alteração da geometria da ferramenta, a aplicação de métodos mais produtivos e eficientes de energia de britagem de rocha, bem como a utilização de novos materiais na fabricação de pastilhas de corte [11].



2.4 AFIAÇÃO DE BROCAS PARA MINERAÇÃO

A afiação correta e no momento oportuno é fundamental para a utilização econômica das brocas. A afiação manual não atende às exigências de reafiação de brocas, tornando preferível a afiação mecânica. É definida principalmente pela configuração da ponta da broca e requer ângulos adequados e superfícies lisas nos flancos. A simetria dos múltiplos gumes e arestas da ferramenta é extremamente importante para garantir um carregamento equilibrado e manter a capacidade de corte da broca [6].

2.5 CUSTO DA ATIVIDADE DE PERFURAÇÃO

A seleção, uso correto e afiação adequada das ferramentas de desgaste são fatores que integram os custos da perfuração. Essas práticas estão diretamente relacionadas à vida útil das ferramentas e influenciam o desempenho e a viabilidade econômica do processo. Investir em técnicas apropriadas de seleção e afiação das ferramentas é fundamental para otimizar a eficiência e garantir o sucesso da mineração [1].

As brocas são pertinentes na análise econômica da perfuração, embora representem uma parcela menor dos custos totais. Parâmetros como custo das brocas, metros perfurados e velocidade de perfuração são considerados para avaliar seu desempenho. É essencial estimar os custos e realizar uma avaliação econômica, considerando quaisquer restrições. A Eq. 01 oferece uma estimativa simples dos custos de perfuração [12].

$$C = \frac{B + R(T + T_m + T_c)}{M} \quad (1)$$

Onde:

C = custo por metro perfurado (R\$/m);

B = custo da broca (R\$);

R = custo de operação da sonda de perfuração (R\$/h);

T = tempo de perfuração (h);

T_m = tempo de manobra (h);

T_c = tempo de conexão (h);

M = metros perfurados pela broca (m).

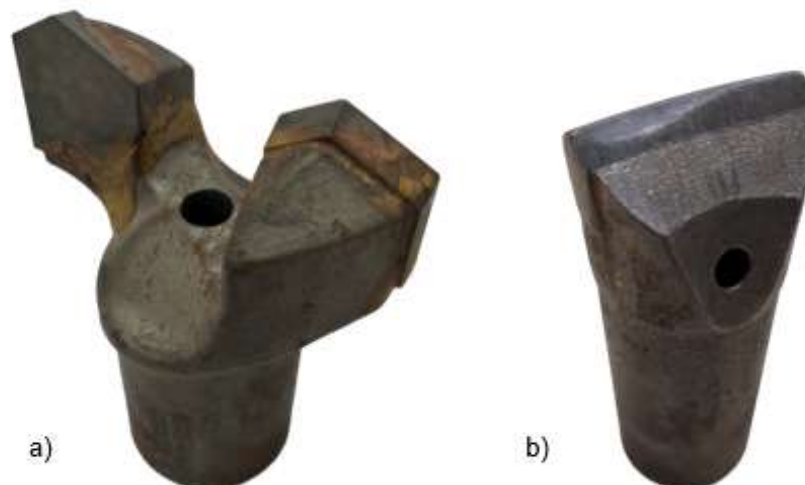
Constatando que o custo de perfuração apresenta uma tendência de aumento exponencial com o aumento da profundidade. Dessa forma, para a realização de análises de custos e correlações, é comum adotar uma relação matemática entre o custo de perfuração e a profundidade, utilizando-se métodos de ajuste de curva e correlação.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

A tecnologia CNC (Controle Numérico Computadorizado) tornou-se amplamente difundida, oferecendo máquinas com movimentação em três ou mais eixos. Essa tecnologia moderna tem sido adotada por empresas de diferentes portes, reduzindo erros e aumentando a consistência dos resultados.

A broca de desmonte é utilizada na perfuração de rochas sólidas com o objetivo de fragmentá-las, facilitando o processo de desmonte. Ela é robusta, com pontas de metal duro para resistir ao impacto e ao desgaste. A broca de sustentação é empregada em furos preenchidos com materiais de suporte e apoiam as estruturas. A escolha correta e a afiação dessas brocas, conforme a Fig. 1, são imprescindíveis para garantir a eficiência e sucesso nos avanços da mineração.

Figura 1: (a) Broca de desmonte; (b) Broca de sustentação.



Fonte: Do autor (2023)

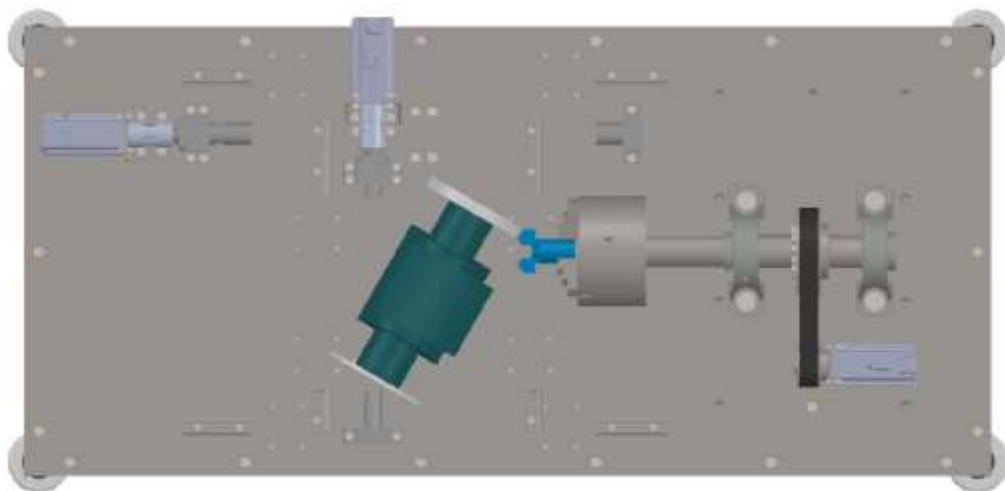
A dificuldade na afiação manual das brocas é um desafio enfrentado pela indústria de mineração, pois a afiação necessita ser consistente para garantir a durabilidade e o desempenho das brocas. O projeto de um equipamento para afiação automática surge como uma solução promissora, pois oferece maior precisão, repetibilidade e eficiência no processo de afiação.

3.1 MODELAGEM 3D

A seleção criteriosa dos componentes, levando em consideração critérios como resistência, durabilidade e compatibilidade, foi fundamental para garantir a qualidade do equipamento. As partes principais, como estrutura, suporte do conjunto afiação e da ferramenta foram projetadas para atender aos requisitos de desempenho e segurança.

O projeto mecânico, observando a Fig. 2, desde o conceito inicial até o detalhamento de peças e montagens, foi realizado no ambiente do software CAD (Desenho Assistido por Computador), utilizando uma licença fornecida pelo Centro Universitário UNISATC.

Figura 2: Vista superior



Fonte: Do autor (2023)

A integração de todas essas etapas resultou em um equipamento eficiente, preciso e confiável, contribuindo significativamente para o processo de afiação de brocas com insertos de metal duro e aprimorando a perfuração em minas de carvão mineral.

3.2 SELEÇÃO DOS ATIVOS

A seleção dos ativos, de acordo com a Fig. 3, foi realizada considerando criteriosamente a precisão requerida para lidar com os esforços resultantes da força de afiação do moto esmeril. Para permitir o deslizamento suave dos carros de movimentação, foram utilizados guias lineares planos com patins, que garantem um movimento preciso e estável.

Figura 3: (a) Moto esmeril; (b) Guia linear plano com patins; (c) Fuso de esfera e mancal; (d) Acoplamento de elastômero; (e) Servo motor



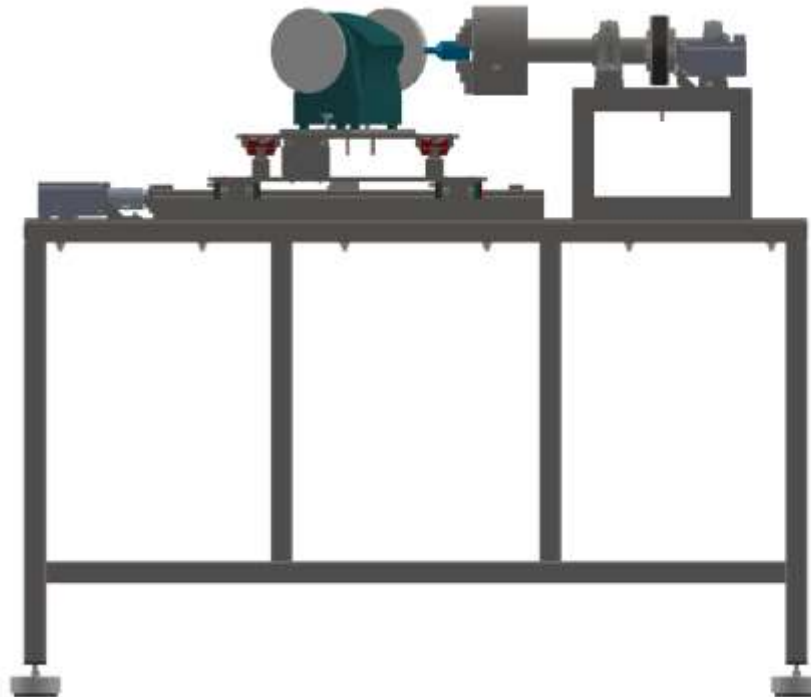
Fonte: Do autor (2023)

Visando aprimorar ainda mais a precisão do movimento dos carros e assegurar a alta qualidade final, optou-se pela utilização de fuso de esfera e mancais adequados. Esses componentes foram devidamente unidos por meio de acoplamentos de elastômero ao servo motor, resultando em um sistema de alto desempenho, baixa vibração e precisão de posicionamento. Para comando dos dispositivos eletromecânicos utilizou-se linguagem de programação por software de controle numérico.

3.3 ESTRUTURA DO EQUIPAMENTO

A estrutura do equipamento, conforme a Fig. 4, foi projetada utilizando tubos de aço de resistência adequada, proporcionando uma base sólida e robusta, capaz de suportar as cargas e esforços envolvidos durante o processo de afiação. A escolha do aço comum como material estrutural garante a estabilidade e durabilidade necessárias para o correto funcionamento, além de um custo de aquisição inferior quando comparado a aços de maior resistência.

Figura 4: Vista lateral



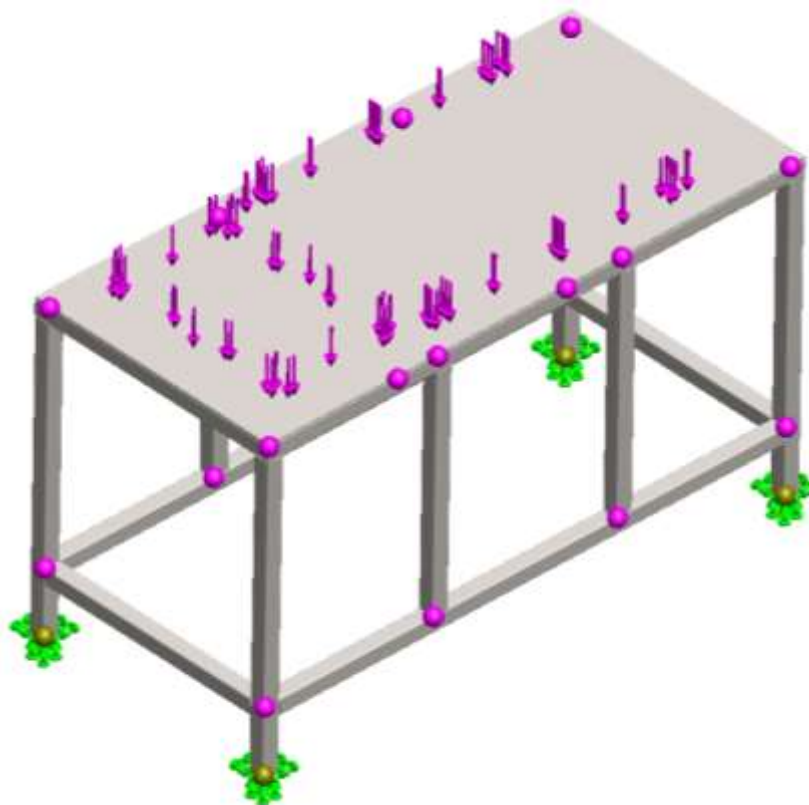
Fonte: Do autor (2023)

A estrutura possui sistemas de fixação e ajustes precisos, permitindo a correta posição das brocas e dos componentes de afiação. Aspectos ergonômicos e de segurança também foram considerados no projeto da estrutura, com acesso facilitado aos componentes e dispositivos de proteção para prevenir acidentes durante a operação da máquina. Além disso, foram conduzidos ensaios de aplicação de forças para assegurar a resistência e funcionalidade do conjunto.

3.3.1 Análise estática

A análise estática do conjunto estrutura representa uma etapa essencial no projeto e desenvolvimento de estruturas mecânicas de máquinas e equipamentos. Este tipo de análise concentra-se na determinação das tensões, deslocamentos e fator de segurança que a estrutura sofre quando submetida a carregamentos estáticos, sem considerar o efeito do tempo ou das vibrações dinâmicas. Durante a análise estática, são aplicadas cargas externas como forças e acessórios de fixação adequadas à estrutura para representar as condições reais de operação, segundo a Fig. 5.

Figura 5: Vista isométrica com aplicação de forças



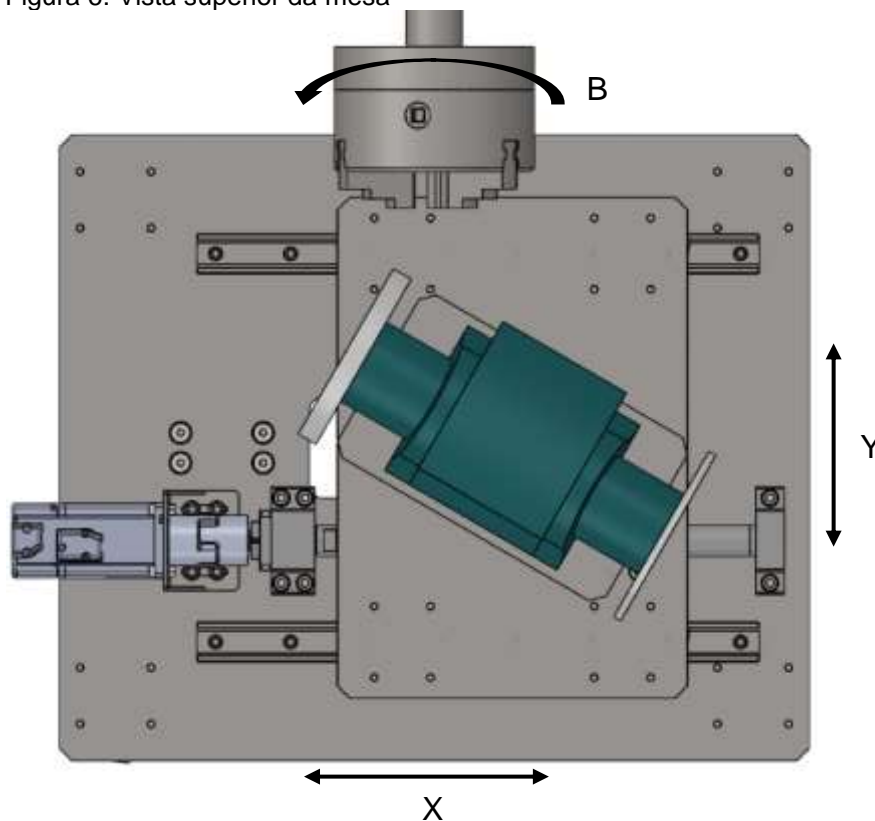
Fonte: Do autor (2023)

A análise é fundamental para garantir a segurança e eficiência das estruturas, permitindo verificar a capacidade de suportar os esforços aos quais serão submetidas em sua aplicação prática. A análise estática auxilia no dimensionamento adequado dos materiais e no refinamento do projeto das peças para otimizar o desempenho e minimizar os riscos de falha.

3.4 MOVIMENTAÇÃO DA MESA

Um sistema de movimentação preciso e controlado foi projetado, permitindo ajustes precisos nos eixos X, Y e B, observando a Fig. 6, garantindo um posicionamento exato da mesa em relação à broca a ser afiada. O eixo X é responsável pelo deslocamento lateral em relação à broca, o eixo Y controla a aproximação e afastamento do rebolo em relação à broca, e o eixo rotacional B realiza o posicionamento angular da broca. Estes sincronismos de movimentação garantem que o rebolo seja adequadamente posicionado em relação à broca, permitindo uma afiação precisa, uniforme e completa.

Figura 6: Vista superior da mesa



Fonte: Do autor (2023)

O sistema é composto por componentes como guias lineares, fusos de esfera laminados e mancais, que trabalham em conjunto para proporcionar um deslocamento preciso e estável da mesa. Além disso, o sistema de movimentação é



projetado levando em consideração aspectos de segurança, com dispositivos de travamento e proteção para prevenir acidentes durante o processo.

3.5 SUPORTE DO CONJUNTO AFIAÇÃO

O suporte do conjunto de afiação desempenha um papel fundamental ao garantir a estabilidade, precisão e segurança durante o processo de afiação utilizando o moto esmeril de bancada. Além de proporcionar um posicionamento e alinhamento adequados da broca a ser afiada, o suporte assegura um resultado eficiente no processo.

Projetada para oferecer movimentos precisos e ajustes adequados da posição do moto esmeril com rebolo em relação à broca, a mesa contribui para um processo de afiação eficiente. A combinação entre o suporte do conjunto de afiação e a movimentação da mesa resulta em um processo de afiação de qualidade, promovendo o melhor desempenho e prolongando a vida útil das ferramentas de perfuração em minas de carvão mineral.

A dressagem do rebolo abrasivo periodicamente é importante para reaver a sua capacidade de produção e alinhamento da face de trabalho. Consiste em recuperar a geometria e a perpendicularidade, mantendo suas arestas afiadas e eficientes. Este processo é realizado por meio de técnicas específicas que visam remover o desgaste e as irregularidades da superfície do rebolo assegurando seu balanceamento e efetividade.

3.6 SUPORTE DA FERRAMENTA

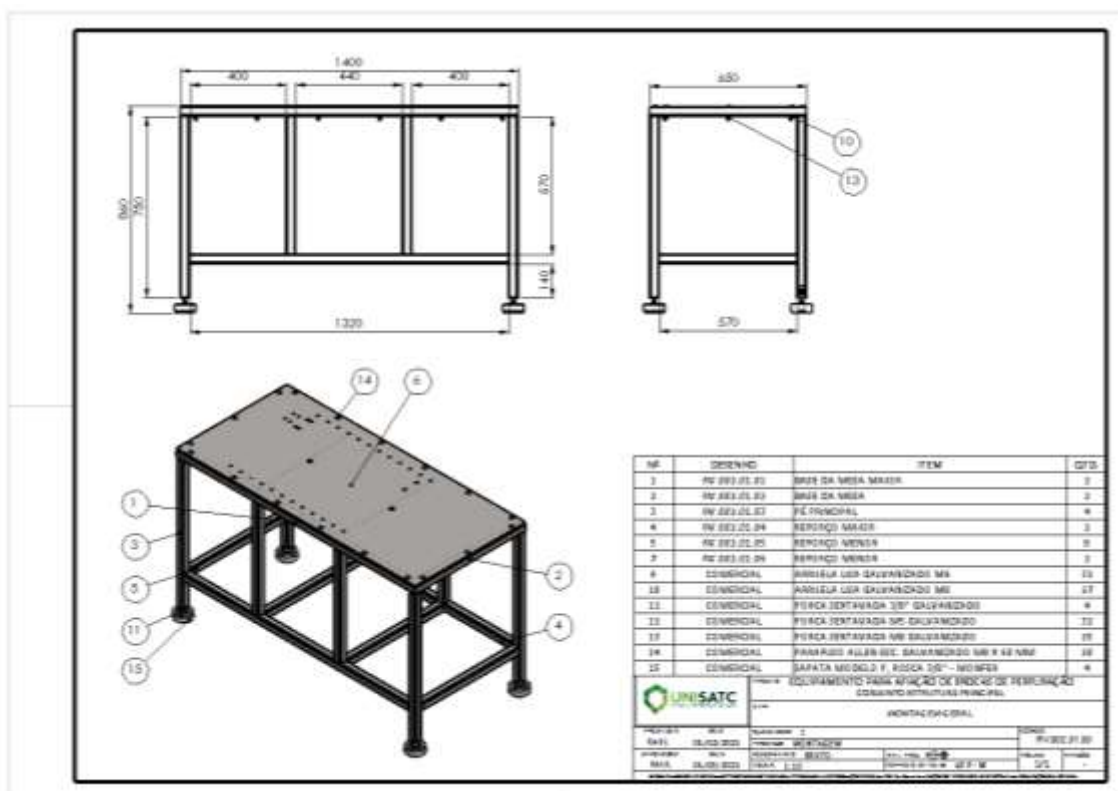
No processo de afiação, a broca é fixada de maneira segura em uma placa do torno universal de três castanhas que permite a fixação centralizada da broca, além da troca rápida tornando o processo mais produtivo. O conjunto formado pela fixação da broca e pela movimentação da mesa para aproximar o rebolo é essencial para obter uma afiação precisa e de qualidade, assegurando o correto desgaste dos insertos de metal duro e prolongando a vida útil das brocas utilizadas na perfuração em minas de carvão mineral.

3.7 DETALHAMENTO

Após a conclusão do projeto em 3D no software CAD, avançamos para a fase de detalhamento, que consiste na criação dos desenhos técnicos das peças, conjuntos e montagens. Esses desenhos foram elaborados com base em princípios de produção, incorporando informações funcionais e cotas relevantes para a fabricação do equipamento.

Os desenhos técnicos seguem o padrão de terceiro diedro, conforme as normas estabelecidas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Além disso, cada peça e montagem é representada em vistas apropriadas, e uma vista isométrica foi adicionada para facilitar a compreensão, como na Fig. 7. As cotas necessárias, simbologias de acabamento superficial e tolerâncias foram devidamente incluídas nos desenhos, garantindo a precisão e qualidade na execução do projeto.

Figura 7: Detalhamento do conjunto estrutura principal



Fonte: Do autor (2023)



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

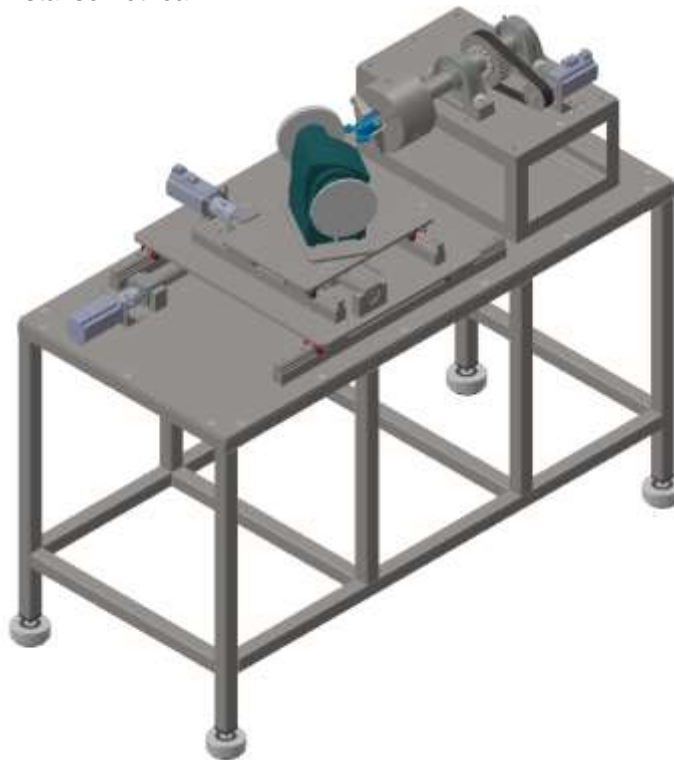
O projeto mecânico para o equipamento de afiação de brocas com insertos de metal duro foi cuidadosamente planejado, com ativos selecionados visando o custo-benefício. Após a conclusão das etapas e avaliação do projeto completo iniciou-se a fabricação das peças e posteriormente a montagem prévia, este capítulo aborda análises e discussões sobre o dimensionamento e análise estática dos componentes escolhidos e outras informações pertinentes ao projeto.

4.1 PROJETO MECÂNICO

Durante a visita técnica realizada na indústria carbonífera, foi possível compreender de forma abrangente as dificuldades enfrentadas no processo de afiação manual das brocas utilizadas na mineração. Os desafios relatados pelos operadores destacaram a necessidade de uma solução mais eficiente e segura.

Com o estudo da geometria dos modelos das brocas de desmonte e sustentação elaboramos o projeto mecânico de um equipamento para afiação. A modelagem 3D, fig. 8, contou com diversas ferramentas para projetar as peças, realizar montagens, identificar interferências, movimentos e detalhamentos.

Figura 8: Vista isométrica



Fonte: Do autor (2023)

Os requisitos e medidas de segurança compreendidos pela Norma Regulamentadora n.º 12 (NR-12) para o uso adequado do equipamento no ambiente de trabalho foi aplicado, para resguardar a saúde e integridade dos trabalhadores. Como dispositivos de segurança, sistemas de parada de emergência, sinalizações, dispositivos de proteção contra riscos mecânicos, elétricos e outros perigos existentes.

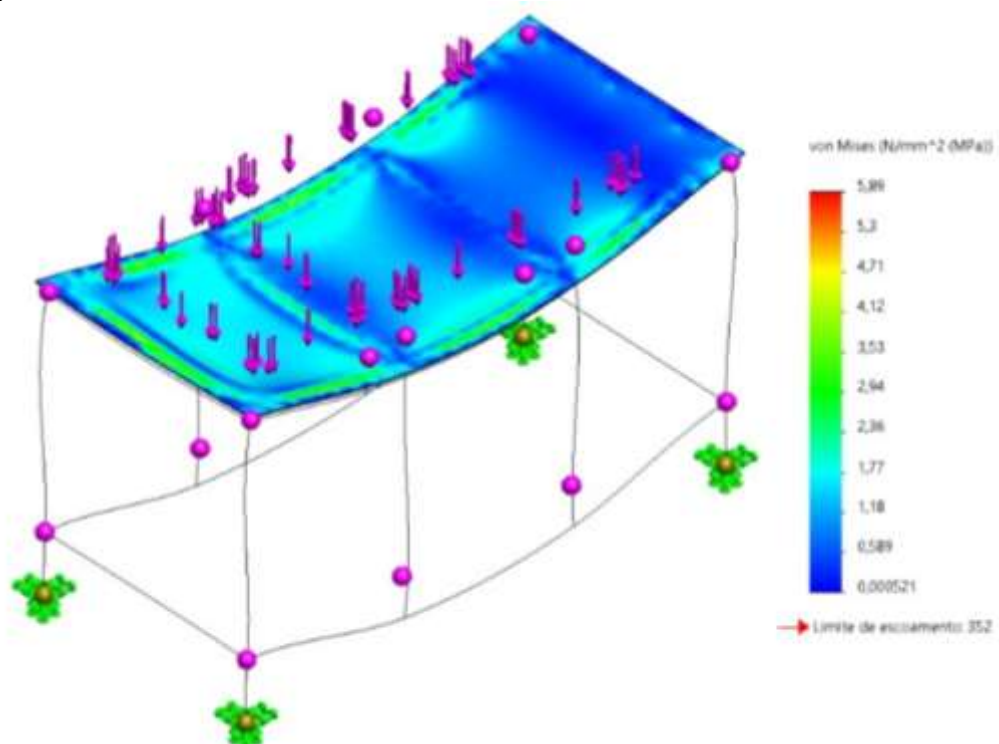
4.2 RESULTADO DA ANÁLISE ESTÁTICA DO CONJUNTO ESTRUTURA

O material da estrutura tubular e a chapa principal da mesa é fabricada em aço carbono AISI 1020, com limite de escoamento de 351,6 N/mm² (MPa) e resistência de tração de 420,51 N/mm² (MPa), apresentados na literatura. O conjunto estrutura é fixado por pés de apoio e as forças aplicadas são referentes ao conjunto suporte da ferramenta de 47,08 kgf (461,70 N) e por forças distribuídas dos conjuntos de movimentação da mesa e suporte do conjunto afiação de 95,52 kgf (936,73 N).

4.2.1 Tensões

A análise de tensão de Von Mises, mostrado na Fig. 9, permite analisar as distribuições de tensão em todo o elemento estrutural, identificando áreas onde ocorrem tensões máximas e mínimas. Essa informação é fundamental para garantir que os materiais utilizados possam suportar as cargas impostas, evitando possíveis falhas ou rupturas.

Figura 9: Resultado da análise de tensões



Fonte: Do autor (2023)

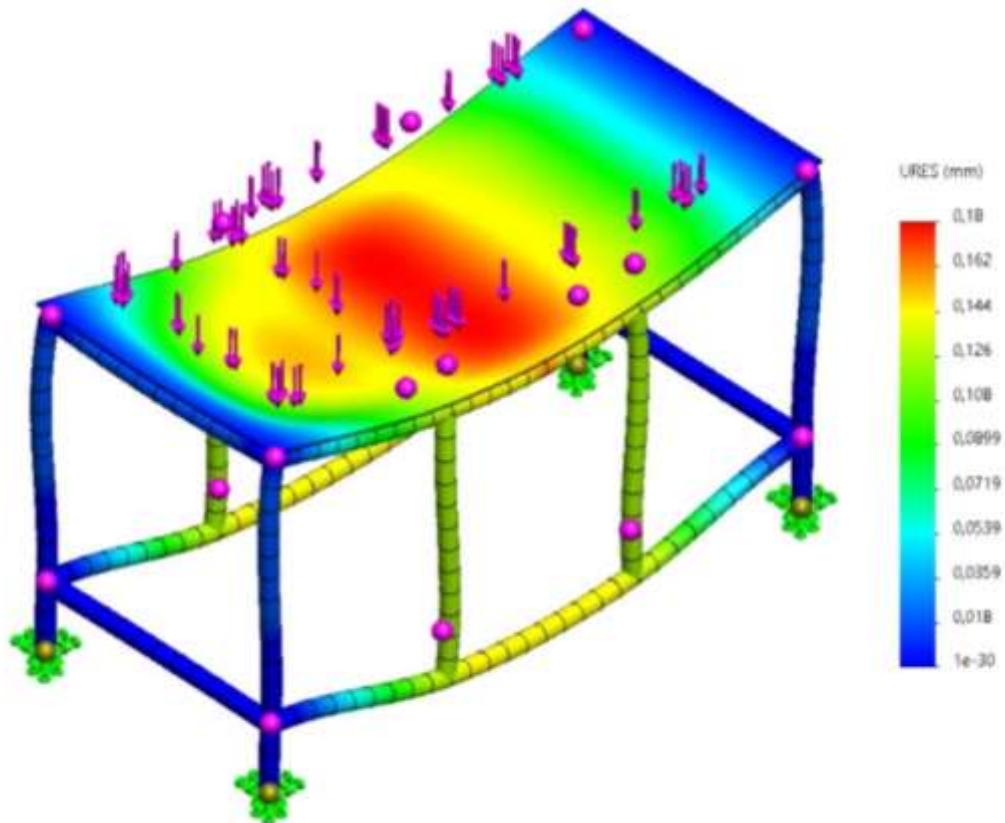
O resultado da análise por elementos finitos de tensão de Von Mises representa a magnitude combinada de todas as tensões atuantes no material. Comparando o limite de resistência do material encontrado de $5,89 \text{ N/mm}^2$ (MPa) com o limite de escoamento do material, mostra que a estrutura suporta as forças atuantes.

4.2.2 Deslocamentos

Os deslocamentos, mostrado na Fig. 10, também são uma parte essencial da análise estática e permitem determinar as deformações lineares na estrutura,

mostrando como ela se desloca sob a ação das cargas aplicadas. Essa informação é importante para garantir a estabilidade e a integridade estrutural.

Figura 10: Resultado da análise de deslocamentos



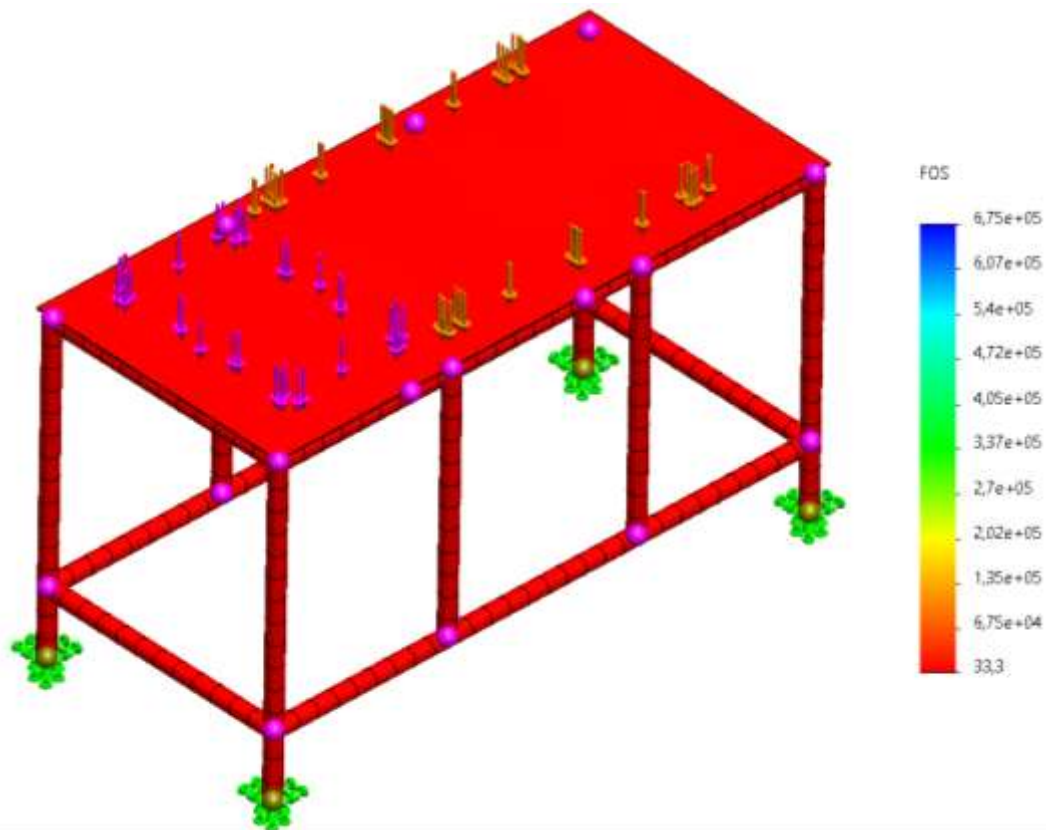
Fonte: Do autor (2023)

O resultado da análise por elementos finitos de deslocamentos (URES) representa a deformação e a resposta estrutural sob diferentes condições de carregamento. Analisando o deslocamento máximo na representação é de 0,18 mm, suportando as deformações esperadas e atendendo aos requisitos de desempenho.

4.2.3 Fator de segurança

O resultado da análise de fator de segurança, mostrado na Fig. 11, é um valor numérico que indica a margem de segurança da estrutura ou componentes em relação às forças aplicadas. É uma relação entre a resistência da estrutura e as cargas atuantes sobre ela, e é utilizado para determinar a margem de segurança em relação à capacidade de falha.

Figura 11: Resultado da análise de fator de segurança



Fonte: Do autor (2023)

O resultado da análise por elementos finitos de fator de segurança (FOS) representa a capacidade de suportar as forças aplicadas sem comprometer sua estabilidade e segurança. O FOS encontrado é de 33,3, sendo que quando for igual ou maior que 1, significa que a estrutura é capaz de suportar as cargas com segurança, pois a resistência é maior ou igual às solicitações atuantes.

4.3 CUSTO ESTIMADO

Quanto ao aspecto financeiro, o projeto foi realizado com o objetivo de otimizar os recursos financeiros disponíveis, sem comprometer a qualidade e a performance do equipamento. Foram selecionados componentes e materiais de boa relação custo-benefício, levando em consideração a durabilidade e a eficiência.

Os resultados do custo podem ser avaliados na Tabela 1, a seguir:



Tabela 1: Custo estimado do equipamento

Descrição	Valores
Acoplamentos	R\$ 390,00
Anéis de fixação	R\$ 222,68
Castanhas, suportes de castanha e fusos de esfera	R\$ 2.032,10
Elementos de fixação: parafusos, porcas e arruelas	R\$ 718,85
Elementos elétricos e eletrônicos	R\$ 5.320,00
Guias lineares e patins	R\$ 4.349,02
Mancais e rolamentos	R\$ 1.267,99
Mão de obra - montagem	R\$ 7.200,00
Matéria prima	R\$ 1.568,25
Materiais corte à laser	R\$ 1.136,11
Moto esmeril de bancada e rebolos	R\$ 1.480,00
Placa de torno	R\$ 1.279,90
Polias sincronizadora	R\$ 1.017,86
Projetos mecânicos	R\$ 15.500,00
Servo motores	R\$ 14.512,47
Usinagem	R\$ 3.200,00
Valor total	R\$ 61.195,23

Fonte: Do autor (2023)

A introdução de tecnologias avançadas, como automação, controle numérico e sistemas de monitoramento, aumenta o custo do equipamento. No entanto, esses recursos trazem benefícios significativos, como maior precisão, invariabilidade e controle durante o processo de afiação, resultando em brocas de melhor qualidade e em tempo reduzido.

4.4 VALIDAÇÃO E MONTAGEM PRÉVIA

Após a conclusão de todas as etapas do projeto mecânico, seleção de componentes e a análise estática que certificou um equipamento de extrema segurança, iniciamos a aquisição dos materiais e ativos necessárias para prosseguir com a etapa de montagem prévia dos conjuntos principais.

Os testes iniciais com movimentos simples realizados, comprovam a resistência e a funcionalidade do equipamento, atestando a sua capacidade de realizar a afiação das brocas com insertos de metal duro. Os resultados obtidos, de acordo com a Fig. 12, foram satisfatórios, demonstrando a eficiência do projeto e a validação das soluções adotadas.

Figura 12: Equipamento em fase de montagem



Fonte: Do autor (2023)

O resultado final será um equipamento eficiente, confiável e preciso, que atenderá aos requisitos de desempenho, segurança e durabilidade. Além disso, o projeto buscou proporcionar um produto acessível do ponto de vista financeiro, oferecendo uma solução de qualidade com um bom custo-benefício.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo abordou o desenvolvimento do projeto mecânico de um equipamento para afiação de brocas com insertos de metal duro para perfuração em mina de carvão mineral como uma alternativa substitutiva aos processos manuais de afiação. Utilizando o software CAD, foi possível realizar uma montagem precisa, evitando erros de projeto e interferência das peças. A análise de esforços demonstrou que a peça ensaiada respondeu de forma positiva, suportando a carga aplicada. Dando embasamento para o início da compra dos materiais e ativos, bem como a montagem prévia.

O objetivo final foi alcançado, assim como os resultados dimensionais desejados. Para otimizar o processo de fabricação e reduzir custos, algumas



modificações podem ser implementadas. Este processo mostra-se promissor e necessário, pois o mercado demanda métodos de fabricação mais dinâmicos, versáteis e econômicos.

O CNC oferece um controle preciso e automatizado do processo de afiação das brocas de mineração, garantindo resultados consistentes de maior durabilidade em operação. Haja vista que atualmente a grande maioria das mineradoras fazem este tipo de afiação de forma manual, que varia de acordo com a habilidade do operador. Além disso, proporciona maior segurança em comparação aos métodos tradicionais de afiação, reduzindo a possibilidade de erros.

É importante ressaltar que a pesquisa e projeto do equipamento enfrentou limitações, as quais podem ser vistas como oportunidades para investigações futuras, direcionando esforços e aprimorando o conhecimento existente.

REFERÊNCIAS

- [1] JARDIM, Thomas Ferreira. **Análise de desempenho de brocas triconicas 9 7/8"**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia de Minas, 2017.
- [2] PIRI, Mostafa; MIKAEIL, Reza; HASHEMOLHOSSEINI, Hamid; BAGHBANAN, Alireza; ATAEI, Mohammad. **Study of the effect of drill bits hardness, drilling machine operating parameters and rock mechanical parameters on noise level in hard rock drilling process**. Iran: Elsevier, 2020.
- [3] GERALDI, José Lúcio Pinheiro. **O abc das escavações de rocha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- [4] CHIEN, Dinh Van; LINH, Nguyen Khac; GOLIKOV, N S. **Angle impact on drill life during hole drilling land mine explosion at Quangninh area, Vietnam**. Hanoi: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020.
- [5] SANTOS, Pedro Vinícius Teixeira. **Análise da influência do procedimento de revezamento e afiação de bits na vida útil das brocas e no desempenho das perfuratrizes**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia de Minas, 2022.
- [6] TEIXEIRA, Cleiton Rodrigues. **Influência dos erros geométricos de afiação nas brocas helicoidais de aço rápido na qualidade dos furos produzidos**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1995.
- [7] QUAGLIO, Osvail André. **Otimização da perfuração e da segurança nos desmontes de agregados através dos sistemas laser profile e boretrak**. Ouro



Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia de Minas, 2003.

[8] MORAIS, Danilo Fagundes Pascoal de. **Estudos dos principais tipos de brocas de perfuração de poços de petróleo e suas demandas tribológicas.** Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte - UFRN. Natal: 2014.

[9] FELIX, Aluízio; MAURÍCIO, Adriana; SANDOQUEN, Antônio Carlos; AMORIM, André. **Apostila de perfuração de rochas.** Pernambuco: Universidade Federal De Pernambuco, 2009.

[10] VILLARROEL, Juan Carlos Castillo. **Análise comparativa entre a furação com brocas para furos curtos de insertos reversíveis e brocas helicoidais.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1991.

[11] PLÁCIDO, João Carlos Ribeiro; PINHO, Rodrigo. **Brocas de perfuração de poços de petróleo.** Rio de Janeiro, 2009.

[12] PRASSL, Wolfgang, F. **Drilling Engineering.** Australia: Curtin University of Technology, 2013.