

# CLIMATIZADOR MÓVEL PARA MELHORIA OPERACIONAL DA TEMPERATURA EM MINA SUBTERRÂNEA

Alisson Brasil, UFMG, alisson\_engh@yahoo.com.br

Renan Collantes Candia, UFMG, rcandia@demin.ufmg.br

## RESUMO

Um dos principais parâmetros para a continuidade operacional em uma mina subterrânea, é o fator temperatura nas frentes de serviços (°C). As atuais normas regulamentadoras para ambiente subterrâneo, expressam o limite aceitável para cada atividade laboral a ser considerada pela NR 15 [1]. Se o ambiente subterrâneo for inadequado poderá ocasionar desconforto, que sofre os efeitos fisiológicos como perda de interesse nas atividades, frequentes descansos, desejo de concluir a atividade rapidamente, redução do grau de concentração, afetando diretamente o fator da segurança operacional. Por vezes altas temperaturas podem inviabilizar atividades de sondagem, frentes de lavra, apoio. O estudo visa buscar formas de melhorar as temperaturas com uso de climatizadores móveis em frentes de serviço estratégicas, para viabilidade operacional e/ou melhorar as condições atuais.

**Palavras Chave:** Ventilação de Mina. Mina Subterrânea. Conforto Térmico. Sensação térmica.

## ABSTRACT

One of the main parameters for operational continuity in an underground mine is the temperature factor on the service fronts (° C). The current regulatory standards for the underground environment, express the acceptable limit for each work activity to be considered for NR 15 [1]. If the underground environment is inadequate, it can cause discomfort, which suffers physiological effects such as loss of interest in activities, frequent rest, desire to complete the activity quickly, reduction in the degree of concentration, directly affecting the operational safety factor. Sometimes high temperatures can prevent drilling activities, mining fronts, support. The study aims to seek ways to improve temperatures using mobile air conditioners on strategic service fronts, for operational feasibility and / or to improve current conditions.

**Key Words:** Mine ventilation. Thermal comfort. Thermal sensation.

## INTRODUÇÃO

Os desafios atuais das operações mineiras e em especial às minas subterrâneas estão se tornando gradualmente maiores. As minas estão se tornando cada vez mais profundas, exigindo cada vez mais trabalhos mecanizadas, e os requisitos legais (saúde, segurança e meio ambiente), se tornando cada vez mais exigentes, buscando uma maior sustentabilidade do processo e aumento da eficiência operacional para a maior recuperação mineral. Do ponto de vista de ventilação os efeitos principais da profundidade são o aumento do calor e da umidade, e aumento das condições de tensão prévia, obrigando ao aumento da sustentação das escavações. Esses fatores levam as empresas a concentrar sua atenção, esforços, tecnologias e recursos no controle da estabilidade das escavações e em eficientes sistemas de ventilação.

Um dos grandes problemas de minas subterrâneas se refere ao desconforto térmico que geralmente está atrelado à temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). A literatura aponta mais de vinte e três fontes de calor em subsolo, destacando-se o fluxo geotérmico, motores a combustão, o uso de explosivos, a rede de iluminação, a oxidação de certos tipos de minério, a infiltração de águas termais, movimentação do maciço, a rede de ar comprimido e a presença de grande número de trabalhadores em certos tipos de lavra, são algumas das fontes de calor características de uma lavra em subsolo (Gancev, 2006) [1].

O trabalho em ambientes subterrâneos exige alguns procedimentos para garantia das condições mínimas de segurança e saúde para. A exposição prolongada do colaborador as condições térmicas desfavoráveis conduzem inevitavelmente ao aumento de temperatura, produzindo efeitos fisiológicos que reduzem o rendimento e podem até provocar a morte (Torres e Gama, 2005) [2]. O metabolismo humano é acompanhado pela geração de calor, com o que a temperatura do organismo se mantém próximo a  $36,9^{\circ}\text{C}$ , e em contato com a temperatura do ar circundante o homem poderá sentir sensação de frio ou calor e os efeitos fisiológicos de baixas e altas temperaturas.

(Hartmann, 2006) [3] relata que os efeitos das condições de temperatura e umidade inadequadas tornam os operários menos conscientes dos sinais visuais ao seu redor e essas reduções levam eventualmente a um ponto em que o déficit de atenção compromete a segurança e a saúde dos trabalhadores com o aumento do potencial para acidentes graves. Quando uma pessoa é exposta a uma temperatura superior à de conforto, esta sofre os efeitos fisiológicos como por exemplo: perda de interesse nas atividades que realiza, frequentes descansos ou folgas, desejo de concluir o serviço rapidamente, irritabilidade, redução do grau de concentração, falta de sentido e de atenção e até a morte.

A norma regulamentadora NR15 [4], mostra um limite aceitável para IBUTG, no qual depende do tipo de atividade laboral (leve, moderada ou pesada), afetando diretamente a taxa metabólica do calor gerado pelo corpo. A exposição prolongada do homem em condições térmicas desfavoráveis conduz inevitavelmente ao aumento da temperatura no organismo e como consequência produz efeitos fisiológicos que reduzem seu rendimento. A norma regulamentadora pela NR 17 [5], expressa a temperatura efetiva devendo estar entre  $20^{\circ}\text{C}$  e  $28^{\circ}\text{C}$  para que o trabalho seja executado na melhor forma possível. (Costa, 2019) [6] cita que a partir de uma determinada faixa de temperatura, o rendimento do trabalhador diminui de forma rápida, chegando a doenças ou acidentes como mostrado na Figura 1.

Este trabalho avalia testes de climatização para o ambiente de trabalho, em mina subterrânea em relacionado à redução de temperatura, operando com o uso de climatizadores móveis. O objetivo é a redução da temperatura nominal em frentes de serviço com a utilização de protótipos adaptados e específicos para esta finalidade.

## METODOLOGIA

A determinação da temperatura é o principal ponto a ser verificado para as frentes de lavra relacionado ao desconforto térmico nas frentes de lavra e da exposição de calor no qual os trabalhadores estão expostos, em que no Brasil adota-se o índice IBTUG. O Índice de temperatura de bulbo úmido termômetro de globo (IBUTG) foi desenvolvido inicialmente como um método simples para avaliar sobrecarga térmica em contingentes militares. Esse índice também permite o cálculo de períodos adequados de trabalho-descanso, no caso em que o índice ultrapasse os limites estabelecidos.

As temperaturas podem ser coletadas com o anemômetro devidamente calibrado adotando para isso procedimento e pontos de coletas. Para um controle adequado do balanço da ventilação, devem-se posicionar pontos de medida no circuito principal, dividindo-o em segmentos. Assim pode-se determinar as fugas existentes em cada trecho do circuito, bem como a perda de carga associada. Outra medida importante é medir-se a vazão volumétrica na entrada e saída da ventilação nos painéis em lavra, verificando-se, assim, a possibilidade de recirculação de ar dentro do painel (Pinto, 2006) [7]

O procedimento para medição das variáveis de conforto térmico sugerido pela (Fundacentro,2005) [8] diz que as avaliações devem ser feitas de forma a cobrir todo o ciclo de trabalho, caracterizando cada situação de exposição do trabalhador. As leituras de temperatura devem ser iniciadas após vinte e cinco minutos de estabilização do conjunto com o ambiente, sendo realizadas, no mínimo, três leituras. As leituras obtidas não devem diferir em  $\pm 0,1$  °C, sendo realizadas tantas leituras quanto for necessário, para que as diferenças entre as três últimas leituras. A Figura 1 esquematiza a forma adotada de medição de temperatura nas frentes de lavra.

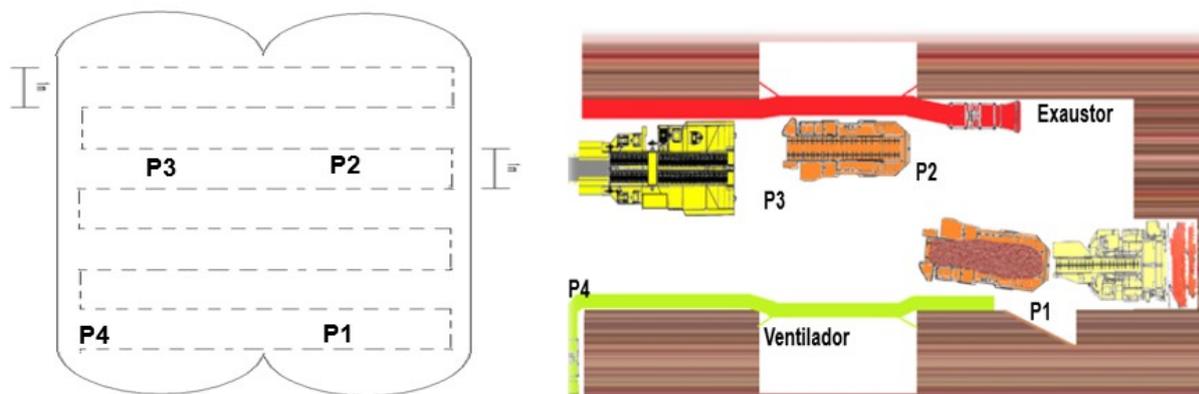


Figura 1- Pontos adotados para medição de temperatura na mina em estudo (contribuição do autor, 2020).

As avaliações de temperatura são demonstradas pelo fluxograma da Figura 2. Neste fluxograma são inseridas as rotas processuais de avaliação em campo pela equipe e principais medidas corretivas e avaliações caso seja necessário com temperatura  $\geq 31,1$  °C.



operacional, tanto para estéril quanto para o minério, é composto por: desmonte mecânico por minerador contínuo, carregamento e transporte por *shuttle car*, fragmentador primário tipo *feeder brake*, transporte por correia transportadora e içamento de material por sistema de poço.

Com a crescente ativa descoberta da mina e longevidade da mesma, novas áreas anteriormente não mapeadas pelo planejamento estratégico de longo prazo, estão entrando em desenvolvimento, no qual que inclui frentes/painéis de lavra painéis e áreas de sondagem. Com a expansão da mina, demanda um maior suporte para às avaliações á infraestrutura, destacando-se o suprimento de ar, para manutenção das temperaturas admissíveis.

A legislação estabelece valores limite de tolerância para agentes ambientais do ar, tais como gases, vapores, poeira mineral e condições de temperatura ambiente. Além das normas reguladoras de mineração, há a Portaria 237 da ANM datada de 19 de outubro de 2001, capítulo 6. Em geral todas estas normas regulamentadoras (NR 15 e 22) estabelecem que o sistema de ventilação deve atender pré-requisitos básicos como:

- ✓ Suprimento de oxigênio mínimo de pelo menos 2 m<sup>3</sup>/s por pessoa e equipamentos.
- ✓ Renovação contínua de ar.
- ✓ Diluição eficaz de gases inflamáveis ou nocivos e de poeiras do ambiente de trabalho.
- ✓ Temperatura e umidade adequadas ao trabalho humano.
- ✓ Operação de modo contínuo e operante.
- ✓ Localização, vazão e pressão dos ventiladores principais
- ✓ Direção e fluxo de ar.
- ✓ Localização e função de todas as portas, barricadas, cortinas, diques, tapumes e outros dispositivos de controle do fluxo de ventilação.

As condições subterrâneas, às quais os funcionários são submetidos podem produzir um metabolismo desequilibrado e, por esta razão, têm que ser controladas. Um dos principais parâmetros é a IBUTG °C (índice de bulbo úmido – termômetro de globo - obtida pela equação 1, de acordo com a Norma Regulamentadora 15 da Portaria 3.214/78, que estabelece que a exposição ao calor dever ser avaliada através do "Índice de bulbo úmido – termômetro de globo" (Ministério do trabalho e emprego, 1978).

$$IBUTG = 0,7tbn + 0,3tg \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (1)$$

Em que:

- ✓ tbn: Temperatura de bulbo úmido natural (em °C).
- ✓ tg: Temperatura de globo (em °C).
- ✓ tbs: Temperatura de bulbo seco (em °C).

A norma regulamentadora NR15, estabelece as atividades e condições insalubres, na qual define atividades ou operações insalubres no ambiente de trabalho acima dos limites de tolerancia. Pela mesma norma, um limite aceitável para IBUTG varia e é dependente do tipo de atividade laboral praticada (leve, moderada ou pesada), já que afeta diretamente a taxa metabólica do calor gerado pelo corpo. Se o ambiente subterrâneo for inadequado para remover esse calor a temperatura do corpo aumentará, ocasionando desconforto que sofre

os efeitos fisiológicos expressos da seguinte forma: perda de interesse nas atividades que realiza, frequentes descansos ou folgas, desejo de concluir a atividade rapidamente, irritabilidade, redução do grau de concentração, falta de sentido e atenção, câibras de calor e até a morte.

A exposição prolongada do homem em condições térmicas desfavoráveis conduz inevitavelmente ao aumento da temperatura no organismo e como consequência produz efeitos fisiológicos que reduzem seu rendimento. (Costa, 2019) cita que a partir de uma determinada faixa de temperatura, o rendimento do trabalhador diminui de forma rápida, influenciando diretamente o rendimento do trabalhador

Nas situações de trabalho (leve, moderada, pontuada) a norma brasileira pontua limites de tolerância para exposição à temperatura, em regime de trabalho contínuo, descanso no próprio local de prestação de serviço e/ou atividade somente com medidas adotadas mitigadoras de controle, conforme Tabela 1.

Tabela 1- Regime de trabalho e temperatura em função da temperatura de globo.

Regime de trabalho intermitente com descanso no próprio local de trabalho	Tipo de atividade		
	Leve	Moderada	Pesada
Trabalho contínuo	Até 30,0	Até 26,7	Até 25,0
45 minutos trabalho x 15 minutos de descanso	30,1 a 30,6	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos trabalho x 30 minutos de descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 minutos trabalho x 45 minutos de descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30
Não é permitido o trabalho sem a adoção de medidas adequadas de controle	>32,2 °C	> 31,1°C	> 30°C

Foram coletadas as medições de temperatura IBUTG (°C) e analisadas os valores de temperatura pelo período de 01/03/20 a 30/09/20 na área da sondagem K, obedecendo à premissa de vazão constante próxima de 22 m³/s neste local. A Figura 3 mostra a variação durante os meses e Tabela 2, demonstra a média pelo período.

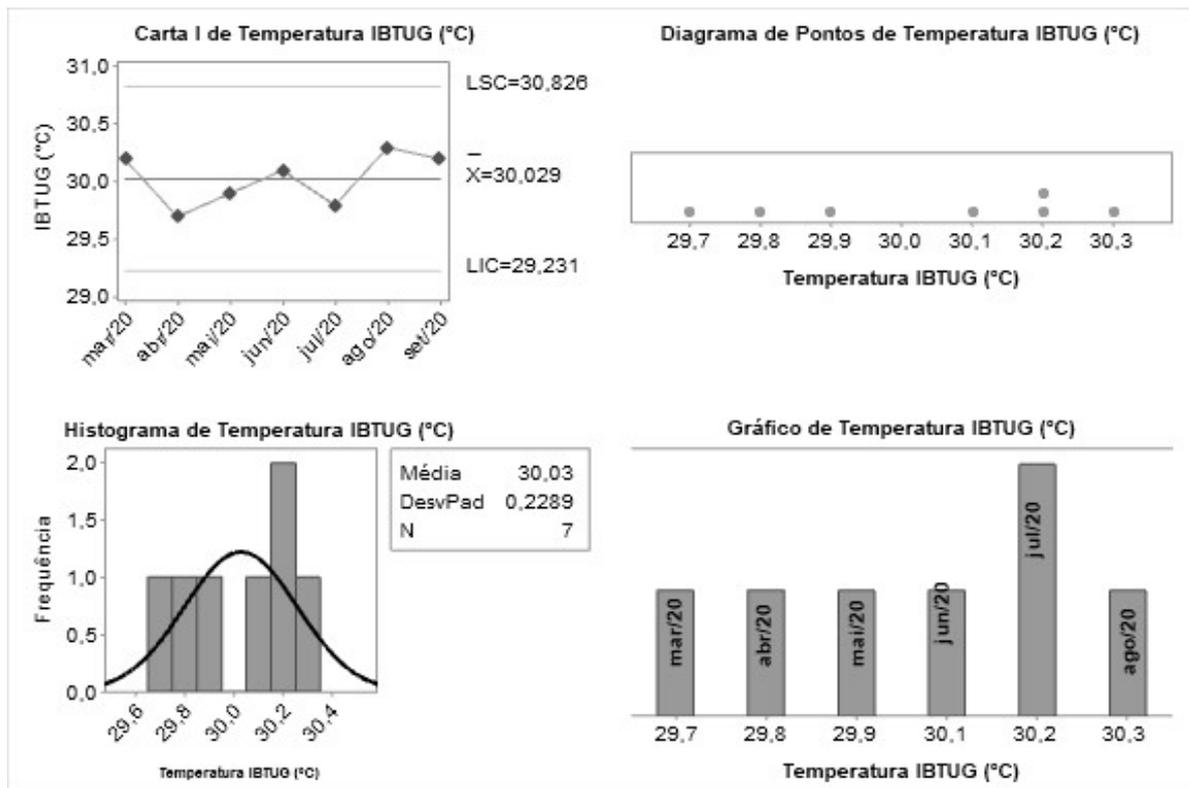


Figura 3- Estatística da temperatura antes do teste do climatizador.

Tabela 2- Estatística das temperaturas antes dos testes dos climatizadores.

Variável	Média	Desv. Pad.	Variância	Mínimo	Máximo	Amplitude
Temperatura IBTUG (°C)	30,03	0,23	0,05	29,70	30,30	0,60

Observa pelas coletadas realizadas que a temperatura média foi de 30°C, estando abaixo da NR15, na qual preconiza trabalhos inferiores a 31,1°C.

Através de um protótipo disponível no mercado foi analisado a instalação de um climatizador móvel, na qual estaria acoplado ao sistema de ventilação secundário. O princípio de funcionamento se baseia na troca do resfriamento evaporativo, no qual o próprio ar cedendo calor sensível para a água umidificar. Na passagem do ar pelo climatizador da colmeia, há a troca de calor entre a água e o ar. A água que evapora garante uma maior umidade do ar resfriado, sendo repostada água, por uma boia que mantém o nível do reservatório constante, conforme Figura 4.

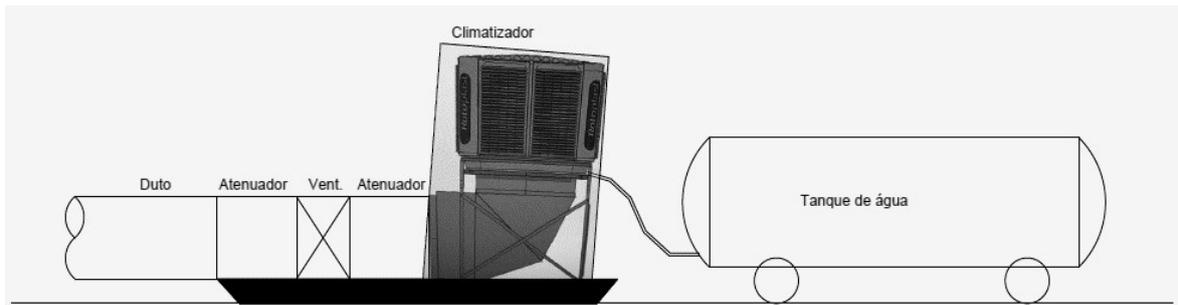


Figura 4- Protótipo de climatizador móvel.

## DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A instalação do climatizador para a sua devida confirmação de eficácia, deve ser levado como pontos principais: a redução da temperatura nominal e manutenção dos parâmetros anteriores do local de trabalho, como por exemplo estabilidade do maciço e minimização de deslocamento de rocha em virtude da presença de água.

A instalação foi realizada no dia 01/10/20, em uma das áreas da sondagem/exploração, devido a menores deslocamentos do protótipo, que poderiam ter em virtude da movimentação dos ventiladores nas frentes de lavra, conforme Figura 5.



Figura 5- Instalação do climatizador acoplado ao ventilador secundário.

Após a instalação do climatizador foram realizadas as coletas de medição de temperatura com uso do psicrometro, mantendo sempre a continuidade operacional do teste, para a estabilização da temperatura no ambiente com o climatizador, dutos de ventilação, grau geotérmico da rocha, equipamentos. A Figura 6 nos mostra os dados coletados de temperatura durante o período, a Tabela 3 as médias encontradas.

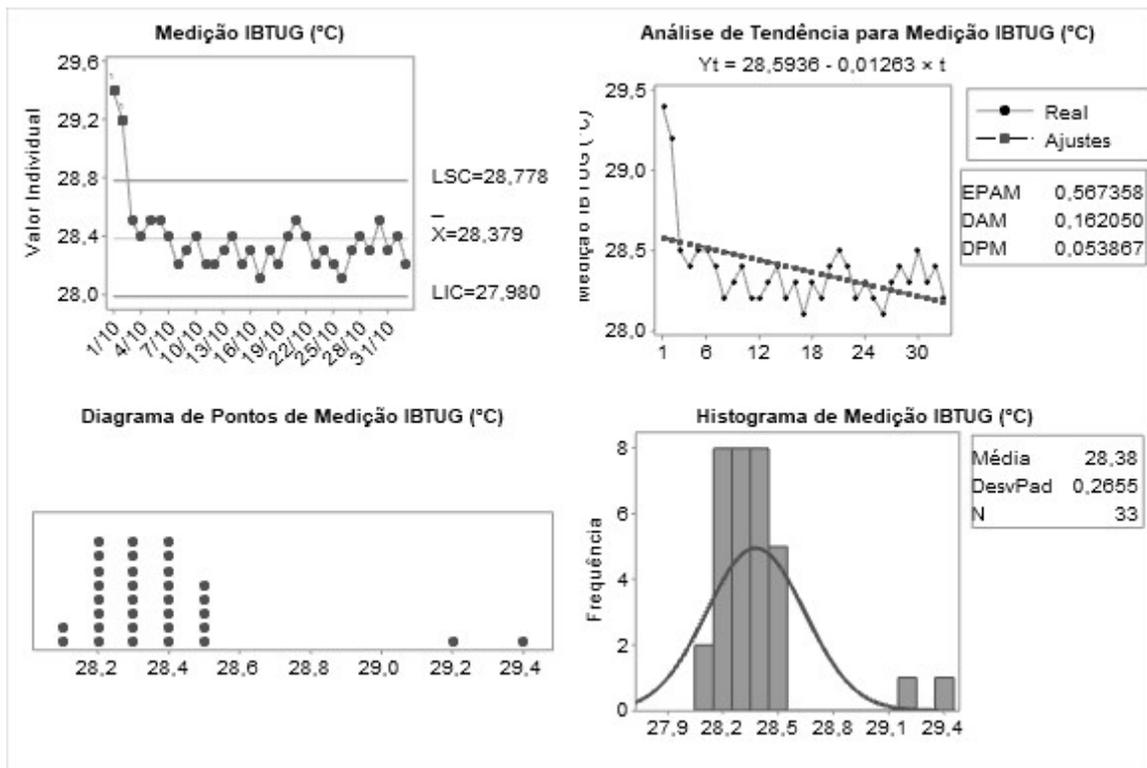


Figura 6- Estatística da temperatura após do teste do climatizador.

Tabela 6- Estatística das temperaturas após o teste dos climatizador.

Variável	Média	Desv. Pad.	Variância	Mínimo	Máximo	Amplitude
Temperatura IBTUG (°C)	28,40	0,27	0,35	28,10	29,40	1,30

Verifica-se que o uso do climatizador resultou em redução da temperatura média em -1,6 °C, uma redução percentual de -5,33 % na temperatura antes dos testes. A partir do gráfico desenvolvido por Poulton,1970 e citado por Manassés, em função da média da temperatura o rendimento do operador estaria em 90 % antes do uso e 96 % após o uso do climatizador, conforme Figura 4.

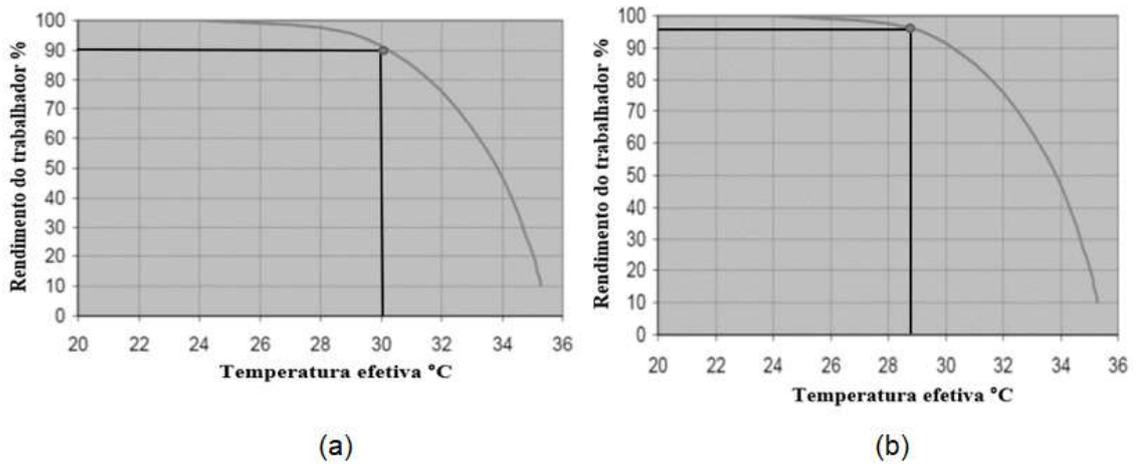


Figura 4- (a) rendimento do trabalhador antes do climatizador; (b) rendimento do trabalhador após uso do climatizador (Poulton, 1970, citado por Massanés, 2015).

A análise qualitativa sobre a sensação e conforto térmico da temperatura junto aos envolvidos na operação, foi realizada antes e depois dos testes. Para o questionário antes do teste, foram computados 2.000 votos, 37 funcionários, por 4 turnos ininterruptos, sendo analisados pela Figura 5 para a avaliação antes dos climatizadores.

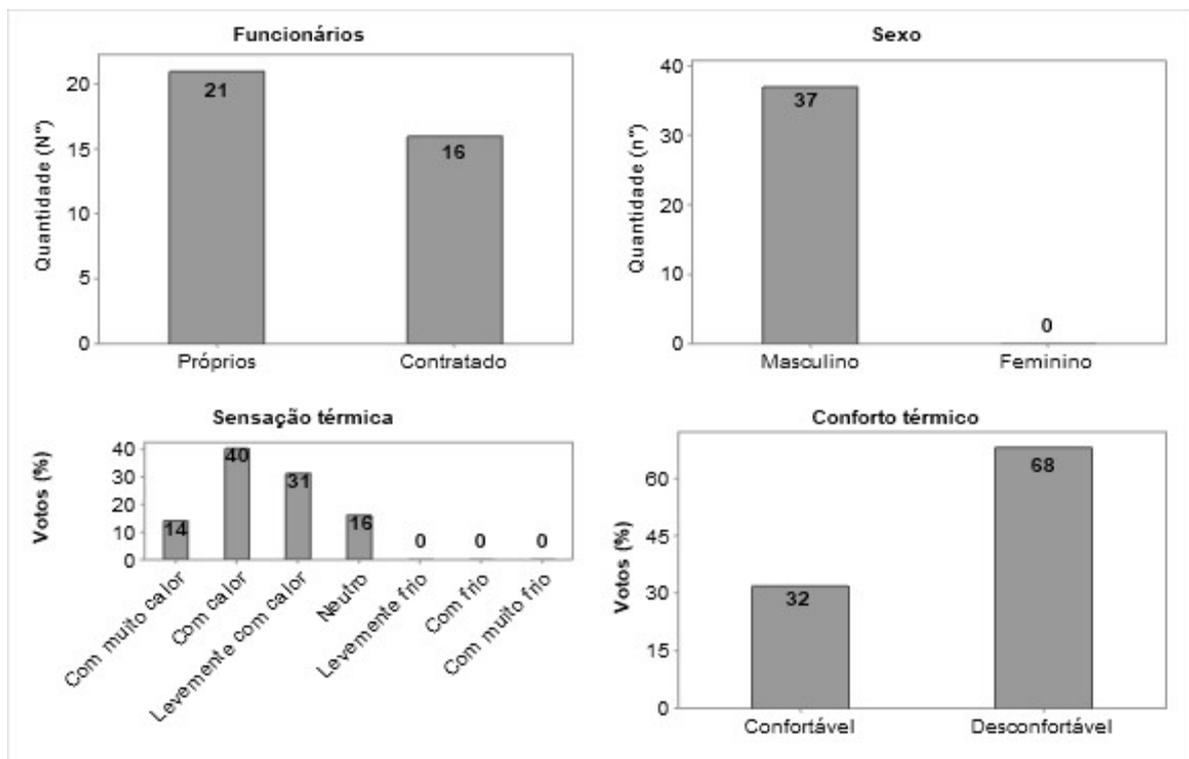


Figura 5- Questionário sobre sensação térmica na mina, antes dos testes com climatizador

Pelo gráfico observa-se que a sensação de calor (com muito calor, com calor e levemente com calor) está em 84 %, e o conforto térmico como desconfortável em 68 %, às atividades habituais desempenhadas pela sondagem.

Com os testes do climatizador em curso, foram realizadas 1.625 votos de pesquisa, com 37 funcionários, em 4 turnos ininterruptos durante os testes com climatizadores. Pelo gráfico

observa-se que a sensação de calor (com muito calor, com calor e levemente com calor) está em 43 %, e o conforto térmico em 16 % como desconfortável às atividades habituais desempenhadas pela sondagem, observado pela Figura 6.

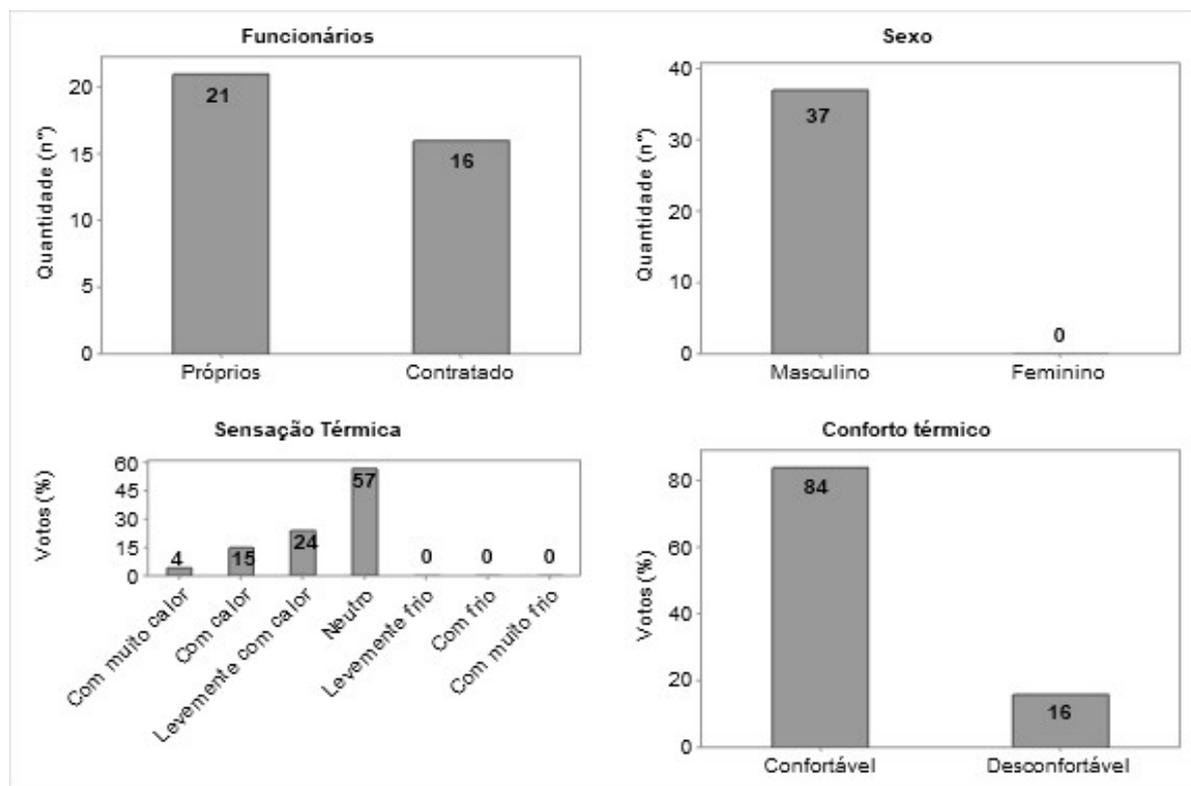


Figura 6- Questionário sobre sensação térmica na mina, durante testes com climatizador.

Nota-se uma melhora significativa da sensação térmica de neutro em +41 %, e o conforto térmico uma melhoria percentual de + 62 %, em relação ao questionário qualitativo com o uso dos climatizadores.

## CONCLUSÃO

O estudo mostra a importância em se buscar formas de melhoria do conforto e sensação térmica ao rendimento do trabalhador em uma mina subterrânea. Foi verificado que o uso de climatizadores móveis em uma determinada área da mina, resultou em redução média de 1,6°C (-5,33 %) na frente de serviço considerando o mesmo layout, vazão e equipamentos. A partir do gráfico desenvolvido por Poulton, 1970, em função da média da temperatura o rendimento do operador estaria em 90 % antes do uso, e 96 % após o uso do climatizador, que gera melhoria na frente de serviço utilizado.

Foram feitas pesquisas visando avaliar qualitativamente a melhoria do uso de climatizador. Com as pesquisas realizadas, verifica-se uma melhoria da sensação térmica considerada como calor (com muito calor, com calor e levemente com calor) de 84 % para 43 % em relação aos votos percentuais, e o conforto térmico considerado como desconfortável de 68 % para 16 % em relação aos votos percentuais, o que reforça a análise quantitativa dos testes.

O estudo traz como uma das possibilidades confirmadas: incremento e melhoria de frentes de serviço relacionado à temperatura (sondagem e/ou frentes de lavra), tendência à uma maior jornada de trabalho atendendo à NR15, e viabilidade operacional de exploração em áreas com temperaturas próximas ao limite admissível, podendo ser uma fonte de melhoria para redução de temperatura em frentes de lavra e sondagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gancev, B. F. Avaliação de condições de qualidade do ar em mina subterrânea [monografia]. São Paulo: Universidade De São Paulo. 2006.
2. Torres, V.F.N. Engenharia ambiental subterrânea e aplicações. 1.ed. Rio de Janeiro: CETEM/CYTED, 2005. 550p.
3. Hartman, H.L. (1982). Mine ventilation and air conditioning. Wiley Interscience, v.2, p.3-67
4. Ministério do Trabalho e Emprego. (1999). NR15- Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração. Ministério do Trabalho e Emprego. Acesso disponível <<https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-15-anexo-12.pdf>>. Data de acesso: 11/10/2020.
5. Ministério do Trabalho e Emprego. (1978). NR15- Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração. Ministério do Trabalho e Emprego. Acesso disponível <<http://www.mte.gov.br/temas/segsau/legislacao/normas/conteudo/nr22>>. Data de acesso: 11/10/2020.
6. Ministério do Trabalho e Emprego. (1978). NR17- Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração. Ministério do Trabalho e Emprego. Acesso disponível <<https://sit.trabalho.gov.br/portal/index.php/ctpp-nrs/nr-17?view=default>>. Data de acesso: 14/11/2020.
7. Costa, V. L. Análise via simulação da influência da temperatura na produtividade e nos custos de ventilação em mina subterrânea. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2019. 137p. Dissertação De Mestrado. (Tese, Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Mineral).
8. Pinto, P. C. Construção de modelos computacionais de redes de fluxo para circuitos de ventilação de minas em subsolo. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, 2004.193p. (Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação Em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais).