

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

ANTONIO FERNANDO CARDOSO BARRETO JÚNIOR
CLODOALDO LIMA PODEROSO
VALDIVONE PRADO CABRAL SOUZA

CONFORTO TÉRMICO EM MINERAÇÃO SUBTERRÂNEA – ANÁLISE
DA EXPANSÃO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO NA UNIDADE
OPERACIONAL TAQUARI-VASSOURAS (UOTV)

EPMI
TRM/HO-2010
B275c

São Paulo
2010

ANTONIO FERNANDO CARDOSO BARRETO JÚNIOR
CLODOALDO LIMA PODEROSO
VALDIVONE PRADO CABRAL SOUZA

**CONFORTO TÉRMICO EM MINERAÇÃO SUBTERRÂNEA – ANÁLISE
DA EXPANSÃO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO NA UNIDADE
OPERACIONAL TAQUARI-VASSOURAS (UOTV)**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista
em Higiene Ocupacional.

São Paulo
2010

Nem tudo que se enfrenta pode ser
modificado, mas nada pode ser
modificado até que seja enfrentado.
(Albert Einstein)

RESUMO

A presente Monografia procurou analisar a importância da expansão do sistema de refrigeração, considerando a necessidade de conforto térmico no processo de mineração subterrânea na Unidade Operacional Taquari Vassouras (UOTV). Abordam-se os controles térmicos no circuito de ventilação, considerando os postos de trabalho em condições atípicas com a presença de fatores diversificados que constituem um diferencial às atividades normalmente vivenciadas na superfície. Tais fatores são potencializados pela presença de máquinas e equipamentos que irradiam determinadas quantidades de calor sensível. Trabalha ainda a questão do desconforto gerado ao trabalhador que chega a impossibilitar a permanência de operadores em determinados pontos de trabalho, interfere negativamente no funcionamento e na durabilidade das instalações e dos equipamentos e consequentemente provocando impactos na ocorrência de acidentes e na produtividade operacional. Considerando o processo de expansão do sistema de refrigeração implantado, suas respectivas etapas, êxitos e pontos de atenção, conclui-se que há uma redução significativa da exposição do trabalhador ao agente calor, destacando-se como consequência a redução de ocorrências resultantes desta e o aumento da produtividade. Requer ainda atenção especial a manutenção do sistema como um todo, o avanço ininterrupto da mina em direção às frentes mais quentes e o aspecto comportamental dos empregados para melhor compreensão da importância da ventilação e da preservação de sua estrutura para a coletividade e para o bom funcionamento da mina.

Palavras-chave: Refrigeração. Conforto térmico. Mina subterrânea.

ABSTRACT

The present Monograph looked for to analyze the importance of the expansion of the refrigeration system, being considered the necessity of thermal comfort in the process of underground mining in Unidade Operacional Taquari Vassouras (UOTV). The thermal controls in the ventilation circuit are approached, considering the ranks of work in atypical conditions with the presence of diversified factors that constitute a differential to the activities normally lived deeply in the surface. Such factors are potencializados by the presence of machines and equipment that radiate definitive amounts of sensible heat. The question of the discomfort generated to the worker still works who arrives to disable the permanence of operators in determined work points, intervenes negative with the functioning and the durability of the installations and the equipment and consequentemente provoking impacts with the occurrence of accidents and the operational productivity. Considering the process of expansion of the implanted system of refrigeration, its respective stages, successes and points of attention, one concludes that it has a significant reduction of the exposition of the worker to the agent heat, being distinguished as consequencia the reduction of resultant occurrences of this and the increase of the productivity. It still requires special attention the maintenance of the system as a whole, the advance uninterrupted of the mine in direction to the fronts hottest and the mannering aspect of the employees for better understanding of the importance of the ventilation and the preservation of its structure for the collective and the good functioning of the mine.

Keywords: Refrigeration. Thermal comfort. Underground mine.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Unidade Operacional Taquari-Vassouras (UOTV).....	9
Figura 2 – Reações do organismo ao calor.....	12
Figura 3 - Temperatura rocha virgem em relação ao traçado de lavra.....	34
Figura 4 - Schuttle Car.....	35
Figura 5 - Esquema do painel de lavra.....	37
Figura 6 - Fluxograma operacional do subsolo.....	39
Figura 7 - Fluxograma simplificado da planta de refrigeração.....	40
Figura 8 - Situação de operação inadequada.....	43
Figura 9 - Porta de ventilação.....	43
Figura 10 - Fluxograma do processo de ventilação e refrigeração.....	44
Figura 11 - Planta de refrigeração.....	45
Figura 12 - Demonstração do circuito de refrigeração.....	45
Figura 13 - Planta de refrigeração – Torre de arrefecimento de ar.....	48
Figura 14 - Planta de refrigeração – Torre de arrefecimento de ar.....	48
Figura 15 - Planta de refrigeração – Compressores tipo parafuso – NH ₃	49
Figura 16 - Tanque de abastecimento água gelada para subsolo.....	49
Figura 17 - Tubulação de água gelada para subsolo – Poço 2.....	50
Figura 18 - Tubulação de água gelada para área norte.....	51
Figuras 19 e 20 - Ventiladores principais em subsolo do tipo axial.....	51
Figura 21 - Pulverização de água gelada – Câmara de resfriamento de ar.....	51
Figura 22 - Controle supervisão.....	53
Figura 23 - Segurança: medidores CO, NH ₃ e outros.....	55
Figura 24 - Acompanhamento temperatura da mina.....	55
Figura 25 - Simulação de parâmetros que viabilizem a expansão da lavra.....	56
Figura 26 - Índices de produtividade.....	57
Figura 27 - Porta de ventilação danificada.....	60
Figura 28 - Dutos rasgados no acoplamento.....	60
Figura 29 - Estrangulamento de dutos.....	60
Figura 30 - Acoplamento errado entre dutos.....	60
Figura 31 - Cortina aberta no painel de lavra.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição do ar puro.....	21
Tabela 2 - Dados quantitativos sobre a respiração humana	26
Tabela 3 - Composição Volumétrica do ar	26
Tabela 4 - Balanço de energia (exemplo painel de produção).....	35
Tabela 5 - Características térmicas da rocha.....	37
Tabela 6 – Sistema e ventilação e refrigeração.....	52
Tabela 7 - NORMA REGULAMENTADORA N.15 - ANEXO N. 3.....	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	15
3. JUSTIFICATIVA	15
4. METODOLOGIA	14
5. REVISAO DA LITERATURA	15
5.1 MINERAÇÃO: CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	15
5.2 VENTILAÇÃO: CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	18
5.2.1 TIPOS DE VENTILADORES.....	20
5.2.2 PRINCÍPIOS DA VENTILAÇÃO.....	21
5.2.3 VENTILAÇÃO EM MINA SUBTERRÂNEA.....	23
5.2.4 SISTEMAS DE VENTILAÇÃO.....	27
5.2.5 PARÂMETROS DA CARTA PSICROMÉTRICA.....	30
6. DESCRIÇÃO DA LAVRA	33
7. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO E SEUS COMPONENTES.....	40
8. INSTRUMENTAÇÃO E MEDIDAS EFETIVADAS	46
9. DISCURSSAO DOS RESULTADOS	54
10. CONCLUSAO	58
11. REFERENCIAS	63

Convém frisar que o potássio é um recurso finito, essencial para a humanidade, sem sucedâneo, com depósitos em relativamente poucos países e com deficiência em muitos solos. No Brasil, cujas reservas são de 300 milhões de toneladas de K_2O , que corresponde a 3,6% das reservas mundiais, a produção atual é de 650,5 mil t de KCl (394,6 mil t de K_2O), ou seja, 10,8% da demanda nacional.

A mineração é considerada uma das atividades econômicas mais antigas do mundo, apresentando uma estrutura secular, encontrando-se nas frentes de trabalho a céu aberto e em minas subterrâneas. Na UOTV é empregado o sistema de poços para extração do minério potássio, sob a forma silvinita, elemento rico em Cloreto de Potássio KCl , importante substância na composição de fertilizantes, portanto indispensável para o devido desenvolvimento dos vegetais, de modo que proporciona maior resistência a pragas, estiagens prolongadas e geadas.

A evolução nos setores da economia, sobretudo por consequência do incremento da mecanização no começo da década de 1990, alcançou algumas mineradoras. O projeto inicial de extração do KCl passou por várias mudanças estruturais e organizacionais devido à tecnologia obsoleta e sub-dimensionada para novos desafios. Assim, em 1992, algumas ações foram tomadas com a finalidade de atender às exigências de mercado internacional, ações voltadas para a melhoria dos indicadores de segurança, qualidade total, redução dos custos e aumento da produção.

Segundo a NR-22 (Norma Regulamentadora de Trabalhos Subterrâneos), é indispensável à atividade de subsolo um sistema de ventilação mecânica que atenda aos seguintes requisitos: suprimento de oxigênio; renovação contínua do ar; diluição eficaz de gases inflamáveis ou nocivos; e temperatura e umidade adequada ao trabalho humano.

Tal é a importância da ventilação para um bom desempenho em qualquer atividade laboral – na superfície ou em subsolo – sendo o ar enviado mecanicamente (forçado), que há fatores decisivos para o controle da sua qualidade. Neste sentido, o controle da ventilação em uma mina subterrânea é determinado pela NR-22, através de critérios de avaliação por meio de um dispositivo em que, para cada

mina, deve ser elaborado e implantado um projeto de ventilação com fluxograma atualizado quando houver novas instalações ou mudanças significativas no processo.

Parte-se da premissa de que a temperatura é um problema em diversas minas, o que exige a conservação de um nível aceitável de temperatura, que permita um bom rendimento dos trabalhadores. O devido controle desse parâmetro operacional proporciona bons resultados ao homem, cumprindo ressaltar que a ventilação permite o controle até certos limites de temperatura, de forma que, acima deste valor deve-se adotar a climatização destes locais. De igual importância é a manutenção do controle da umidade, pois, a temperatura em conjunto com o percentual de umidade do ar adequado, proporciona bem-estar e melhor produtividade.

2. OBJETIVO

Neste estudo o objetivo é analisar a importância da expansão do sistema de refrigeração, considerando a necessidade de conforto térmico no processo de mineração subterrânea na Unidade Operacional Taquari Vassouras (UOTV), clarificando os resultados advindos deste sistema e os principais aspectos relacionados à manutenção e melhoria das condições térmicas atingidas.

3. JUSTIFICATIVA

O calor representa um dos fatores de maior criticidade na mineração subterrânea, havendo um histórico não devidamente registrado de ocorrências na unidade de exaustão por calor, câimbras de calor e acidentes potencialmente causados pela exposição prolongada a condições ambientais desfavoráveis. Podemos ainda inferir condições de conforto que afetam a saúde como um todo, potencializando a irritabilidade, reduzindo o nível de atenção e a produtividade.

ALGUMAS REAÇÕES DO ORGANISMO AO CALOR

DESIGNAÇÃO CLÍNICA	CATEGORIA ETIOLÓGICA
Golpe de calor Apoplexia devido ao calor	Falha termoreguladora
Síncope do calor	Hipotensão ortostática (instabilidade circulatória)
Câimbras de calor	
Prostração hídrica devido ao calor.	
Prostração térmica devida à queda do teor de cloreto de sódio	Desequilíbrio entre a quantidade de sal e de água
Prostração térmica não especificada	
Fadiga transitória e crônica pelo calor	Perturbação do comportamento
Edema do calor	
Erupção cutânea, esgotamento aniódrico pelo calor	Perturbação da pele e dano das glândulas sudoríparas

Figura 2 – Reações do organismo ao calor

Além das características da rocha, que favorecem o aumento da temperatura, a presença de equipamentos diversos, e especialmente a expansão da mina em direção a frentes de maior temperatura tornou-se uma questão crucial para a preservação da unidade e dos postos de trabalho estabelecidos.

O fechamento da mina no ano de 2003 por 01 dia mediante liminar judicial constitui um marco para o efetivo controle da temperatura na mina. A exigência da apresentação de plano de ação efetivo para redução do calor nas frentes de lavra foi decisiva para o processo decisório em relação à implantação do sistema de refrigeração no subsolo, representando um investimento de aproximadamente U\$ 20.000.000,00, tornando viável manter e expandir um sistema de refrigeração de ar que garanta conforto térmico que seja adequado às condições laborais em mineração subterrânea na UOTV.

Tornou-se então uma questão de relevância social porque não visa tão somente o bem-estar dos trabalhadores, mas a própria viabilidade da operação da unidade e passa a implicar em uma ameaça à preservação dos postos de trabalho, que afeta diretamente cerca de 1.200 trabalhadores.

04. METODOLOGIA

A monografia está baseada em procedimentos verificados na análise do sistema de ventilação e refrigeração da mina Taquari Vassouras em Sergipe, visto que se trata de um estudo de caso relacionando aspectos da literatura existente sobre o assunto, aos casos de desconforto térmico e descontrole dos parâmetros operacionais de controle da ventilação.

Partiu-se do pressuposto de que o descontrole dos parâmetros operacionais alteram sensivelmente as atividades realizadas no subsolo, uma vez que se deve verificar com atenção os procedimentos de operação das variáveis de vazão e temperatura do ar, além do manuseio de equipamentos.

O desenvolvimento deste caso baseia-se num levantamento das fases de implantação do processo de expansão de um sistema de refrigeração, sua viabilidade e geração de novos riscos à lavra. O histórico conhecido mas não registrado de acidentes / doenças relacionadas ao calor também foi alvo de discussão acerca da problemática. Deste modo, é imprescindível uma análise imediata fazendo-se uma analogia com as citações de alguns autores mencionados no texto a respeito dos sintomas existentes.

A avaliação do conforto térmico em mina subterrânea principalmente para os trabalhadores das frentes de lavra, apresenta-se mediante a análise das principais variáveis tais como: vazão, temperatura, umidade e velocidade do ar, além de ter proporcionado melhorias no sistema de refrigeração. Algumas informações foram obtidas em livros de referência e impressos diversos (artigos e documentos).

Segundo Gil (2002), uma das características mais relevantes para este tipo de pesquisa é a utilização de técnica padronizada de coleta de dados, como uso de questionários e observação sistemática utilizados no processo de investigação.

5. REVISÃO DE LITERATURA

5.1 MINERAÇÃO: CONSIDERAÇÕES GERAIS

Uma mina subterrânea equipara-se a um organismo vivo com todas as funções que lhe são inerentes, sobretudo a do cérebro (na coordenação geral das operações) e a do sistema nervoso sensitivo (na captação, mensuração e controle dos parâmetros), de forma que a operação se estabeleça dentro dos limites projetados, perseguindo o melhor rendimento, eficiência e segurança operacional.

Nos diversos pontos de uma mina subterrânea, a depender do desenvolvimento da lavra, da sequência e dos caminhos percorridos pela corrente de ar de ventilação entre as galerias – considerados pontos críticos – é imprescindível que haja estações que determinem a qualidade da atmosfera com a distribuição percentual dos seus componentes e o estado físico em que esta medida se deu – a medida das constantes do estado.

Os métodos de mineração subterrânea e a litologia, especialmente o conhecimento da Temperatura da Rocha Virgem (TRV) e dos parâmetros geométricos como difusibilidade térmica¹ e condutividade térmica² da rocha, são os elementos essenciais para estudos termométricos e psicrométricos em uma mina subterrânea. As propriedades geométricas da rocha silvinita estão presentes em maiores concentrações no bloco rochoso da mina, com condutividade térmica de 4,5 w/m°C e difusibilidade térmica de $1,7 \times 10^{-6}$ m²/s.

Conforme Nahass et al. (2001), no Brasil, a história da mineração teve início no século XVII. É provável que, antes de se interessarem pela descoberta de jazidas, os portugueses se empenhavam em descobrir outros recursos, a exemplo do pau-brasil, tabaco, açúcar e mão-de-obra escrava.

¹ Difusibilidade térmica (m²/s) é a quantidade de calor que flui em determinada massa que possui uma certa área em determinado tempo; depende do tempo de contato.

² Condutividade térmica (w/m°C) é a quantidade de calor que passa por unidade de tempo em determinada superfície condutora térmica, existindo neste processo um diferencial de temperatura; é considerado um valor fixo para cada material.

Nas lavras das ocorrências das diversas substâncias minerais encontradas na superfície do solo brasileiro no início do período colonial, eram retiradas massas muito pequenas e que os métodos de extração eram rudimentares. Observa-se, também, que produtos de origem mineral não eram de grande necessidade, de modo que as argilas, areia e cascalho para construções constituíam a principal demanda (GERMANI, 2002).

Foi no século XVIII, com a descoberta do ouro, que aconteceu o primeiro grande “boom mineral”³, dando início ao surgimento das bases para a constituição do setor mineral brasileiro, fundado sob uma visão estratégica de desenvolvimento nacional e baseado numa política e legislação fomentadoras (NAHASS et al., 2001).

Conforme Germani (2002), o Governo brasileiro, em 1817, aprovou os estatutos das sociedades de mineração, que estabeleciam as bases para a fundação da primeira companhia mineradora do Brasil. As primeiras lavras mais sofisticadas foram as de ouro, que apareceram com a abertura da Mina da Passagem, em Mariana/MG, em 1819, pelo Barão de Echevege, seguidas de outras minas. Naquele tempo, tal era a incipiência do processo de mineração, que a perfuração das rochas era feita com ponteiros e marretas e utilizando-se pólvora caseira até meados do século XX.

Os melhores exemplos de introdução de lavra em fatias da década de 40 ocorreram na mina de carvão de Siderópolis, em Santa Catarina, e na mina de Treviso, destinadas a produção de carvão metalúrgico e à alimentação dos fornos da CSN. Na mina de Siderópolis, foi implantada a máquina *Dragline Marion (skid mounted)* de 32jc, que foi por muito tempo a de maior porte operando em minas brasileiras (GERMANI, 2002).

Na década de 1950, foi implantada a mina de manganês, no Amapá, e iniciada também a nova fase de modernização das minas de Itabira, já com técnicos brasileiros e americanos, tendo-se introduzido a perfuração com *Churn Drills* de 9”, desmonte com ANFO, escavadeiras Bucyrus Elétricas de 2 1/2jc e caminhões fora de estrada de 22, 27 e 34 t. A partir daí, a CVRD continuou sendo pioneira,

³ Boom mineral: crescimento da atividade de mineração.

introduzindo, a partir de 1963, a perfuração *down the hole* de 6 ¾" e rotativas de 9 7/8". Em 1968, a utilização de lamas explosivas foi substituída pelo ANFO, por ter velocidade de detonação mais compatível com as rochas. Foram incorporadas as escavadeiras elétricas de 6 e 9jc e caminhões fora de estrada de 45, 65 e caminhões diesel elétricos de 100 e 120 t, cujo desenvolvimento era recente na América do Norte.

A empresa em questão, com seu corpo técnico brasileiro, pioneira também nos seguintes eventos: aplicação de planejamento informatizado, controle de qualidade na lavra, com aplicação de geoestatística, mecânica de rochas aplicadas à estabilidade de taludes, deposição controlada de rejeitos, rebaixamento de lençol freático em minas, transporte de minério e estéril por correias em ambos os sentidos e aproveitamento de minérios de baixo teor.

Tinha então a cobertura via contrato "guarda chuva" com empresa externa, o qual possibilitava solicitar a consultoria mais apropriada conhecida no mundo, para ajudar e incentivar seus técnicos na aplicação da melhor tecnologia existentes para as situações e problemas registrados em suas minas (GERMANI, 2002).

Outro exemplo de modernização em mina subterrânea é a mina Taquari-Vassouras, aplicando o método de câmaras e pilares. Essa mina foi implantada pela Petrobrás e assistida por técnicos franceses no início dos anos 80, constituindo, atualmente, a Vale, que a modernizou colocando-a em níveis de produtividade internacional.

Considerando a importância da perfuração de rocha no processo de mineração, convém transcrever:

A perfuração de rochas é uma operação básica no ciclo produtivo das minerações tanto a céu aberto quanto subterrânea. [...] os inúmeros fornecedores de perfuratrizes de rocha esforçam-se [...] para produzir equipamentos cada vez mais eficientes e associados aos menores custos de capital e de operação. [Há] vários tipos de perfuratrizes como as *churn drills*, as perfuratrizes a percussão, as perfuratrizes rotativas, etc. Todas estas máquinas são projetadas com um objetivo em mente: produzir furos de determinados diâmetros, profundidade e direção na rocha para permitir a introdução de explosivos (GIRODO, 2005).

Quanto às preocupações com a preservação do meio ambiente, manifestou-se com a iniciativa de algumas empresas na década de 1970, o que se intensificou a partir da década seguinte. A evolução da dimensão ambiental no setor mineral brasileiro distingue-se em três fases: a primeira até aos anos 60, caracterizada por uma visão fragmentada, quando a proteção ambiental envolvia poucos recursos (saúde humana, controle da água potável, flora e fauna, e condições no ambiente de trabalho); a segunda dos anos 70 a 80, considerando-se questões mais amplas (poluição ambiental e crescimento das cidades) e a terceira a partir da década de 1990, que coloca o paradigma do desenvolvimento sustentável como o grande desafio, qual seja: encontrar uma forma de equacionar desenvolvimento econômico e social com a preservação do ecossistema planetário.

5.2 VENTILAÇÃO: CONSIDERAÇÕES GERAIS

Em minas, empregam-se dois tipos de ventilação: ventilação natural e ventilação mecânica. A ventilação natural baseia-se na diferença de temperatura do ar exterior e do interior, que pode causar circulação deste, gerando uma corrente capaz de suprir as necessidades de ar da mina. É empregado em pequenas minas ou quando a “tiragem natural” é capaz de suprir adequadamente o ar necessário.

Segundo Andrade Jr. (1997) a ventilação natural é influenciada por:

- Diferença positiva ou negativa entre a temperatura exterior e a interior, determinando o início do fenômeno (circulação de ar) e o sentido do fluxo;
- Desnível entre as entradas que ligam a superfície do terreno aos serviços subterrâneos, respondendo também pela circulação de ar e o sentido do fluxo;
- Profundidade dos poços de ventilação, agindo sobre a vazão juntamente com o item anterior.

À variação de temperatura exterior é são atribuídas variações de vazões e a inversão de sentido do fluxo de ar no interior da mina. Em virtude desta situação é que a ventilação natural torna-se mais efetiva nos climas frios, uma vez que, nas

regiões de climas temperados não se pode contar com “tiragem natural” para uma ventilação regular dos serviços subterrâneos.

Quanto à ventilação mecânica, é indispensável para o adequado funcionamento de um sistema de refrigeração. A maioria das minas modernas emprega a ventilação exaustora, embora em alguns casos a ventilação “soprante” ou insufladora seja empregada. Embora em alguns casos e para algumas aplicações especiais os ventiladores centrífugos e outros equipamentos de ventilação sejam empregados, também é muito utilizado o ventilador axial. Os tipos de ventilação variam de acordo com a função a que é destinada.

Conforme Torreira (1997, p. 461),

A ventilação seja geral ou ventilação apropriada para evitar a diluição é praticamente a mesma. Ambas referem-se ao processo de utilizar ar limpo (às vezes ar externo) para reduzir o nível de concentração de poluentes em um determinado local de trabalho. A ventilação por diluição utiliza-se para reduzir a concentração de gases e vapores inflamáveis ou combustíveis abaixo de um mínimo aceitável. Quando a ventilação é utilizada para este fim, um fator de segurança deverá ser considerado para estimar a quantidade de ar necessária. Para tal, a ventilação trata-se de um dos métodos disponíveis para controlar um ambiente ocupacional, consistindo na movimentação do ar através de ventiladores, denominada também de ventilação mecânica.

A ventilação geral pode ser fornecida pelos seguintes métodos:

- insuflação mecânica e exaustão natural;
- insuflação natural e exaustão mecânica;
- insuflação e exaustão mecânica.

A insuflação mecânica, ventilando ar externo num ambiente, nem sempre é recomendável, pois o ar externo pode estar contaminado de impurezas, ou com temperatura e umidade relativa inadequadas. Convém ressaltar que não se trata da mina ora estudada, onde a ventilação ocorre de maneira contínua, sem problemas de contaminações. A falha na manutenção de baixos níveis de contaminação poderá trazer perigos de grande porte. Em momento nenhum as concentrações deverão exceder os valores mínimos ora prefixados.

Segundo Torreira (1997, p. 468-482),

[...] a exaustão local como captação de contaminantes da fonte de produção antes destes contaminarem o ambiente ou ambientes contíguos. Os contaminantes captados através de dutos são enviados para outros lugares onde são armazenados, filtrados, etc. Uma vantagem da ventilação por exaustão local é que pode ser considerada completa, sendo a taxa de captação independente do contaminante gerado, bem como o volume de ar, geralmente pequeno. As desvantagens radicam na complexidade do projeto, custos e da dificuldade da sua eventual mudança de lugar.

5.2.1 TIPOS DE VENTILADORES

Um ventilador pode insuflar ar num ambiente, tomando ar externo ou exaurir ar deste para o exterior. Quando um ventilador funciona no sentido de exaurir ar de um ambiente é comumente denominado exaustor. Dentre os tipos de ventiladores existem os ventiladores estáticos e dinâmicos.

Os ventiladores estáticos são ventiladores rotativos de grandes diâmetros que trabalham a baixa depressão motriz com pequenas fugas entre as partes móveis e fixas, com relativa baixa rotação. Os ventiladores estáticos foram empregados em minas de vazões moderadas, mas atualmente estes ventiladores são obsoletos.

Quanto aos ventiladores dinâmicos, são rotativos, pois trabalham a rotações bem mais altas e distinguem-se dos anteriores por gerarem maiores depressões e ter comunicação livre entre montante e jusante, induzem bem maior velocidade à corrente de ar que os anteriores.

Segundo Andrade Jr. (1997) os ventiladores dinâmicos são classificados como:

- helicoidais (ou axiais): a corrente de ar gerada em filetes segue uma trajetória de capas cilíndricas com distâncias constantes do eixo de rotação do rotor impelidor;
- Centrífugos: a trajetória da corrente de ar é normal ao eixo de rotação do rotor impelidor;
- hélico-centrífugos: equipamento intermediário entre os tipos anteriores com trajetória reversa e saída oblíqua em relação ao eixo de rotação;

- diametrais: nestes, a trajetória da corrente é perpendicular ao eixo de rotação do qual se aproximam e depois se afastam.

5.2.2 PRINCÍPIOS DA VENTILAÇÃO

O fornecimento de ar puro deve atender a princípios de ventilação, conforme os quais devem ser observados: composição adequada, componentes adicionais e diferencial de pressão.

Na Tabela 1 consta a composição do ar puro apropriada, designando o percentual de cada elemento.

Tabela 1 – Composição do ar puro

ELEMENTO	PERCENTUAL
Nitrogênio (N ₂)	78,1%
Oxigênio (O ₂)	20,93%
Argônio (Ar)	0,9325%
Dióxido de Carbono (CO ₂)	0,03–0,04%
Kriptônio (Kr)	0,0001 %
Neônio (Ne)	0,0018%
Hélio (He)	0,0005%
Xenônio (Xe)	0,000009%

Fonte: Torreira (1997, p. 460).

Cumprir destacar que qualquer produto, seja no estado gasoso, líquido ou sólido, que venha a alterar a composição qualitativa ou quantitativa acima estimada como ar puro, é considerado poluente.

Segundo Torreira (1997, p. 462) o ar se movimenta, de modo que deve existir um diferencial de pressão entre dois pontos e do ponto de maior para o de menor pressão. Assim, a quantidade de fluxo de ar é calculada pela eq.(2):

$$Q = V \times A \quad (2)$$

Onde:

Q = vazão volumétrica em m^3/s

V = velocidade em m/s

A = área em m^2

A velocidade, que consiste na distância percorrida por um ponto material na unidade de tempo, é calculada pela eq.(3).

$$V = \frac{d}{t} \quad (3)$$

Sendo

d = distância, medida em metros (m) ou pés (ft);

t = tempo, medido em segundos (s) ou minutos (min).

Dessa forma, as unidades de velocidade de ar serão: mis (metros por segundo) ou pés por minuto (ft/min), também escrita sob a forma FPM (*feet per minute*).

No que se refere à taxa de renovação do ar, ou número de trocas de ar num ambiente, consiste no número de vezes que o volume de ar desse ambiente é trocado na unidade de tempo, sendo calculado pela eq.(4).

$$T = \frac{Q}{V} \quad (4)$$

Sendo Q a vazão e V o volume.

A relação entre a vazão e o volume resulta em um número que depende somente do tempo. Por exemplo, quando a vazão é expressa em m^3/h e o volume em m^3 , resulta um número T expresso por hora.

5.2.3 VENTILAÇÃO EM MINA SUBTERRÂNEA

A ventilação em mina subterrânea pode ser classificar como sendo:

- Ventilação de higiene: Objetiva o suprimento de ar (O_2) necessário e suficiente aos consumidores de modo que a atmosfera local não venha a ter deficiências de oxigênio ou contaminantes a níveis de comprometer a saúde ou o funcionamento de equipamentos, máquinas e materiais.
- Ventilação de segurança: tem a finalidade de evitar que a atmosfera local alcance níveis de concentração de gases que a tornem explosivas ou susceptível a incêndios sem controle; pela ventilação consegue-se fazer circular mais ou menos ar na mina buscando-se a vazão adequada aos seus objetivos no suprimento das necessidades.

Conforme Andrade Jr. (1997), as necessidades de ar nas minas podem ser classificadas de acordo com os tipos de ventilação aqui abordados.

- Na ventilação de higiene, a quantidade de ar necessária é definida por:
 - limite de tolerância dos contaminantes;
 - no número de trabalhadores presentes;
 - no nível de produção;
 - na potência mecânica oriunda de motor de explosão usada no ambiente da mina;
 - emanções gasosas dos extratos;
 - consumo de explosivos;
 - nível e concentração de gases de incêndio detectados no ar ambiente da mina;
 - nível e concentração de poeiras explosivas no ar ambiente da mina;
 - nível de radiação presente na atmosfera de mina.

- Para assegurar a ventilação de segurança, deve-se:
 - baseá-la nas emanações de gases explosivos e poeiras explosivas;
 - mantê-las no limite de tolerância de gases explosivos e poeiras explosivas.

As finalidades de ventilação em mina subterrânea necessárias para garantir a higiene e segurança de todo complexo (homens e máquinas) são:

- Suprimento de oxigênio aos consumidores e equipamentos;
- Proporcionar ar adequado à respiração;
- Controlar a temperatura a níveis satisfatórios;
- Diluir e remover gases nocivos, inflamáveis ou explosivos que ocorram na mina;
- Diluir e remover poeiras decorrentes das operações de lavra; e
- Diluir e remover radiações controlando o nível de radiação no ar ambiente da mina.

Considerando tais finalidades, percebe-se que as exigências de ventilação são de ordem quantitativa e qualitativa do ar circulado. Assim, um dos principais objetivos da ventilação é manter o ar adequado em cada ponto da mina onde haja necessidade do ar ambiente permanecer em condições satisfatórias à presença humana e a garantia de segurança de condições de operação e de permanência.

A mina, como ambiente dinâmico, tem partes em estágios distintos de desenvolvimento e de operação, com características e exigências diferenciadas, sendo necessários arranjos diferentes para que o ambiente e o ar se mantenham adequados em todos os pontos onde as características o imponham.

Os dispositivos de distribuição que guiam as correntes de ar com vazão suficiente às necessidades das galerias da mina são incorporados aos sistemas para garantir uma quantidade de ar adequada a todos que nela trabalham.

Andrade Jr. (1997) esclarece que os princípios de fluxo de ar aplicados à ventilação de mina são os seguintes:

- O fluxo de ar é induzido por diferença de pressão entre as aberturas de insuflação e de exaustão (Δh).
- A diferença de pressão é causada pela imposição de certa forma de pressão em um ponto ou em vários pontos, no sistema de ventilação.
- A diferença de pressão criada deve ser suficiente para vencer a resistência devido à fricção e às perdas de carga por impacto.
- As vias subterrâneas, tanto as de entradas como internas ou as de saída, devem ser providas de condutos de ar.
- O ar, via de regra, flui de um ponto de alta pressão para outro de menor pressão.
- O fluxo de ar obedece a uma relação quadrática entre o volume e a pressão: $h \propto Q^2$.
- A diferença da pressão atmosférica para a pressão de ventilação pode ser positiva (seria insuflação, sistema com ventilador forçando o ar a entrar na mina) ou negativa, exaustão (sistema com ventilador na saída puxando o ar por dentro da mina).

Andrade Jr. (1997) afirma que as perdas de pressão são dos tipos:

- Perdas por fricção (h_f): causadas pela resistência oferecida ao fluxo de ar pelas paredes das vias de circulação de ar. Dependem então das condições de rugosidade das superfícies das paredes.
- Perdas por choque (h): causadas pela variação abrupta da velocidade do ar em movimento como resultado da mudança de direção da corrente de ar, da redução da área ou da forma das seções das vias de circulação, bem como do grau de obstrução e regulagens destas correntes.

Tabela 2 – Dados quantitativos sobre a respiração humana

Coefficiente de respiração	Atividade	Razão de respiração por min	Ar inalado por cada inspiração (L)	Ar inalado por min (L)	O₂ consumido (Cfm)
0,75	repouso	12-18	0,393-0,705	4,916-13,109	0,01
0,90	moderada	30	1,475-1,966	45,884-58,993	0,07
1,0	vigorosa	40	2,458	98,322	0,10

Fonte: Adaptado de Andrade Jr. (1997).

A respiração humana constitui-se basicamente de duas ações mecânicas: a sucção do ar da atmosfera - inspiração; o expelimento do ar servido aos pulmões - expiração. Do ar que entra nos pulmões uma parte em cinco é constituída pelo oxigênio e apenas uma em seis partes do ar contido nos pulmões é trocado numa respiração normal. Por sua vez a razão de respiração vai depender também da quantidade de oxigênio presente na atmosfera.

O quadro abaixo mostra composição do ar em 3 condições diferentes:

Tabela 3 — Composição Volumétrica do ar

Componentes	Composição Volumétrica		
	Ar normal seco	Ar inalado a 21°C e 50% de umidade relativa	Ar expirado a 36°C e 100% de umidade relativa
Gases inertes (N ₂)	79,00%	78,00%	75,00%
Oxigênio	20,97%	20,69%	16,00%
Vapor d'água	0,00%	1,25%	5,00%
Gás carbônico	0,03%	0,06%	4,00%

Fonte: Adaptado de Andrade Jr. (1997).

Do ar que entra nos pulmões uma parte em cinco é constituída pelo oxigênio e apenas uma em seis partes do ar contido nos pulmões é substituído numa respiração normal. Por sua vez, a razão de respiração vai depender também da quantidade de oxigênio presentes na atmosfera. É bom lembrar que nas montanhas altas onde a atmosfera é mais pobre em oxigênio a respiração tem que ser mais

rápida para compensar o menor teor de O_2 na atmosfera. A atmosfera de mina difere ligeiramente da atmosfera exterior em termos da composição de O_2 , CO_2 e N_2 .

Outra maneira de verificar a qualidade do ar local numa mina consiste em considerar que a atmosfera é constituída de três componentes:

- Ar atmosférico normal (composição do ar exterior): o ar atmosférico seco na proporção normal funciona como um gás com propriedades bem definidas;
- Gases ativos: % dos gases explosivos (combustíveis) liberados ou formados no subsolo que se misturam à atmosfera de mina;
- Ar Mortal (ar nocivo): é a mistura de CO_2 e N_2 contida no ar da mina em proporções que excedam a da atmosfera normal. O "ar mortal" deve à redução do O_2 no ar, abaixo de 16 % de O_2 ; a composição do "ar mortal" em diferentes minas varia nos limites de 5 a 15% de CO_2 e 85 a 95% de N_2 .

5.2.4 SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

Para que um eficiente sistema exaustor seja adequado aos locais onde há formação de pó, devem ser tomadas algumas medidas na fase do projeto, quando reduzem o custo da implantação e evitam arranjos improvisados que são pouco eficientes. Os subsistemas que constituem um sistema de ventilação devem ser seguros conciliados nos locais em que trabalhadores realizam atividades perigosas.

O pó capturado, que contém minério explorado decantado, no caso o potássio, é retomado por correias transportadoras. Além disso, é necessário conciliar o problema das emissões de retomo de ar ao trabalho de conscientização do homem. Neste contexto, observam-se, não raro, condições que inviabilizam a circulação do ar com vazão e temperaturas adequadas, tais como tapumes em posições inadequadas, lonas danificadas, perda de ar em virtude da abertura de uma porta ou cortina antes da chegada ao painel de lavra, dentre outras.

A finalidade de um sistema de ventilação adequado é equacionar o problema, considerando: segurança contra incêndios e explosões, higiene ocupacional, controle de emissões externas e cuidados com o custo final do mesmo. Desse modo, cuidados devem ser tomados para o equacionamento do problema e a

solução correta das medidas saneadoras que abranjam todos os parâmetros operacionais.

O Minerador Alpine desenvolve o painel que será desmontado ou lavrado. Cabe ressaltar que os equipamentos são geradores de carga térmica, e influenciam o fluxo de ventilação. A separação dos circuitos ou galerias é feita por paredes, tapumes, pontes, cortinas e os ventiladores.

Considerando o fato de que o O_2 do ar é indispensável ao metabolismo do homem, sua presença é imprescindível em todos os ambientes de trabalho. A priori, o ar é o elemento que, de maneira contínua e permanente, independe de meios artificiais, mantém o contato direto entre o ambiente ocupacional e o meio ambiente geral. Contendo vapor de água, o ar é responsável pela sensação do conforto térmico, levando-se em consideração a temperatura de bulbo seco, a temperatura de bulbo úmido e a velocidade do ar. A ventilação para a manutenção do conforto térmico e eficiência antrópica é conseguida através do restabelecimento das condições atmosféricas alteradas pela presença do homem e da refrigeração do ar (MESQUITA; GUIMARÃES, 1988).

A ventilação do processo, operação que emite contaminantes, e a ventilação de ambientes em geral constituem um dos mais importantes métodos de controle. Consiste-se na movimentação do ar por meios naturais ou mecânicos, quer introduzindo-o num ambiente (insuflação), quer retirando-o desse ambiente (exaustão).

A atmosfera é a fonte natural do O_2 , necessário ao metabolismo do homem e a fonte de suprimento para circulação do ar, que beneficia a recomposição e a qualidade da atmosfera, corrigindo-lhe o estado físico (temperatura, pressão e umidade contida). A atmosfera é responsável pela sensação de conforto térmico e satisfação física, ambiente de propagação do som e veículo de transporte das impurezas (gases, vapores e sólidos em suspensão). Assim, é necessário estudar os recursos utilizáveis para, empregando sistemas adequados de ventilação, conseguir-se ambiente adaptado ao bem estar físico, sadio e sem riscos de incêndios ou explosões.

Segundo Macintyre (1990, p. 57-146), a ventilação mecânica preocupa-se com a natureza das questões ambientais no trabalho, visto que se deve fornecer condições favoráveis às atividades ora praticadas cotidianamente, dirigidas ao objetivo de ventilação para o conforto. Ressalta-se que, em se tratando de ventilação com insuflamento e remoção mecanizadas, a exemplo das mobilizações para abertura de portas e cortinas, ocorrem perdas de ar, pois o fluxo do ar limpo flui para o ar de retorno.

O monitoramento ambiental é realizado através de carta psicrométrica, que verifica o percentual de umidade e outros parâmetros, também pelo anemômetro, para a verificação da velocidade do ar. Conforme Hartman et al. (1997), o anemômetro deve ser colocado na direção perpendicular ao ar. Ainda, aborda que se devem tomar cuidados quanto aos erros de medição das velocidades do ar, principalmente quanto aos praticada pelo homem, prejudicando assim, as variações de vazão, importante parâmetro para o monitoramento ambiental da mina.

Segundo Macintyre (1990), existem diversas cartas psicrométricas, publicadas pela Carrier, pela Trane Company, por empresas fabricantes de equipamentos de ar condicionado, além da American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). Na carta psicrométrica são averiguadas as escalas de:

- Temperatura de Bulbo Seco;
- Umidade Específica;
- Umidade Relativa (%);
- Temperatura de Bulbo Úmido;
- Volume Específico;
- Entalpias;
- Temperatura do ponto de orvalho;
- Pressão de vapor;
- Razão entre o calor sensível e calor total.

Stoeker e Jones (1985, p. 46) esclarecem que “a carta considera exclusivamente o vapor de água, cuja linha de saturação pode ser construída a partir das tabelas de água saturada”.

5.2.5 PARÂMETROS DA CARTA PSICROMÉTRICA

Neste item encontram-se resumidamente descritos alguns parâmetros da carta psicrométrica, a saber: umidade relativa, umidade absoluta, entalpia, volume específico e temperatura de bulbo úmido.

A umidade relativa (φ) consiste na razão entre a fração molar do vapor de água do ar úmido e a fração do vapor de água no ar saturado à mesma temperatura a pressão total. Das relações para gases perfeitos pode-se sugerir a eq.(5):

$$\varphi = \frac{\text{pressão parcial do vapor d'água}}{\text{pressão de saturação de água pura a mesma temperatura}} \quad (5)$$

As linhas de umidade relativa constante podem ser traçadas na carta, marcando as distâncias entre a linha de saturação e o eixo das abscissas.

A umidade absoluta, w , é a massa de água contida em 1 kg de ar seco. A sua determinação pode ser feita com a equação dos gases perfeitos, aplicando a eq.(6) e a eq.(7).

$$w = \frac{\text{kg de vapor de água}}{\text{kg de ar seco}} \quad (6)$$

$$w = \frac{p_s/R_s}{(p_t - p_s)/R_a} \quad (7)$$

onde,

w = umidade absoluta

R_s = constante do gás do vapor

R_a = constante de gás do ar seco

p_t = pressão atmosférica

p_s = pressão de vapor de água

A pressão atmosférica está associada à pressão barométrica, considerada fixa para a carta. Existe uma relação direta entre a umidade absoluta e a pressão parcial do vapor de água, de modo que os parâmetros podem ser colocados indistintamente como ordenados. A relação entre w e p_s não é linear; ressalta-se que na maioria das cartas psicrométricas, a escala de w é dividida linearmente, o que resulta uma escala de p_s levemente não linear.

A entalpia de uma mistura de ar seco e vapor de água é a soma das entalpias dos componentes. Os valores da entalpia são sempre referidos a um estado de referência. Assim, o ar é admitido com entalpia nula à temperatura de 00 C. Para o vapor de água o estado de referência é o da água, líquido saturado a 00 C, coincidente com aquele das tabelas de vapor. A entalpia pode ser calculada pela eq.(8), a seguir:

$$h = c_p \cdot t + w \cdot h_g \text{ (kJ/Kg ar seco)} \quad (8)$$

onde,

c_p = calor específico à pressão constante do ar seco = 1,0 kJ/kg.K;

t = temperatura da mistura, °C

h_g = entalpia do vapor saturado à temperatura da mistura, kJ/kg.

A eq.(8) proporciona resultados satisfatórios, embora passível de alguns refinamentos. O calor específico, c_p , na realidade varia entre 1,006 a 0° C e 1,009 a 50° C. A entalpia do vapor de água, h_g , foi determinada na condição de vapor saturado, embora o vapor da mistura esteja provavelmente superaquecido. Uma linha isoentálpica pode ser adicionada à carta psicrométrica, representando-se nesta, os pontos das temperaturas e umidades absolutas. As linhas na região limitada pelos eixos coordenados e pela linha de saturação são linhas de temperatura de bulbo úmido constante, que se desviam levemente das linhas isoentálpicas.

O volume específico é definido como ao volume (m^3) de mistura por kg de ar seco, podendo também ser definido como o volume em m^3 de ar seco por kg de ar seco, uma vez que os volumes ocupados pelas substâncias individualmente são iguais. O cálculo do volume específico é realizado pela eq.(9).

$$v = \frac{R_a \cdot t}{p_t - p_s} \quad (m^3/kg \text{ ar seco}) \quad (9)$$

Para determinar o lugar geométrico dos pontos de igual volume específico na carta psicrométrica, basta diminuir v por 0,9 e introduzir o vapor da pressão barométrica, p_t , e, para valores arbitrários de T , obter os valores correspondentes de p_s . Os pares (p_s, t) determinam a linha de volume específico constante. Segundo Creder (1990, p. 37),

Obtém-se a temperatura de bulbo úmido cobrindo-se o termômetro com uma flanela molhada, onde a temperatura de equilíbrio é a temperatura de bulbo úmido. Usualmente é obtida juntamente com a temperatura do termômetro de bulbo seco, onde, girando-se o psicrômetro, melhora-se o contato com o ar. Quando o ar, em contato com o bulbo úmido, não está saturado, há vaporização da água contida na flanela e esta vaporização faz baixar a temperatura do bulbo úmido até o ponto de equilíbrio. A diferença entre as temperaturas do bulbo seco e do bulbo úmido é denominada depressão de equilíbrio.

6. DESCRIÇÃO DA LAVRA

O primeiro passo é a locação, pela equipe de topografia, dos pontos para orientação do alinhamento de cada furo de sondagem horizontal a ser feito. Durante a execução de cada furo, mais uma vez a topografia atua, cadastrando o mesmo, para informar suas coordenadas x, y e z (Norte, Este e cota) de emboque, seu azimute e inclinação iniciais. Nessa etapa já é verificada além das características da rocha (Figura 03), o comportamento desta no traçado previsto para exploração da mina, o que demonstra o avanço das frentes para regiões cada vez mais aquecidas.

Os furos de sondagem verticais feitos pela Petrobrás indicam a existência e delimitação da jazida, para se fazer os projetos de painéis de lavra, precisam-se de estudos geológicos detalhados da área a ser lavrada, a partir de furos de sondagem horizontais, que obedecem a um projeto de pesquisa, feito pelos geólogos. A sonda é do tipo rotativa (para rochas). Os testemunhos gerados, que consistem em amostras da rocha extraídos com a sonda, são arrumados em caixas específicas e levados à superfície, onde serão analisados.

Na superfície, a equipe de geologia interpreta os testemunhos, o que resulta na confecção da planta do estrutural, que mostra curvas de nível, referentes a um marco geológico, que servirá como base para projetar e para lavrar aquela área em estudo. Nela são traçadas as isólitais, que são curvas indicadoras da espessura da camada de minério naquele local.

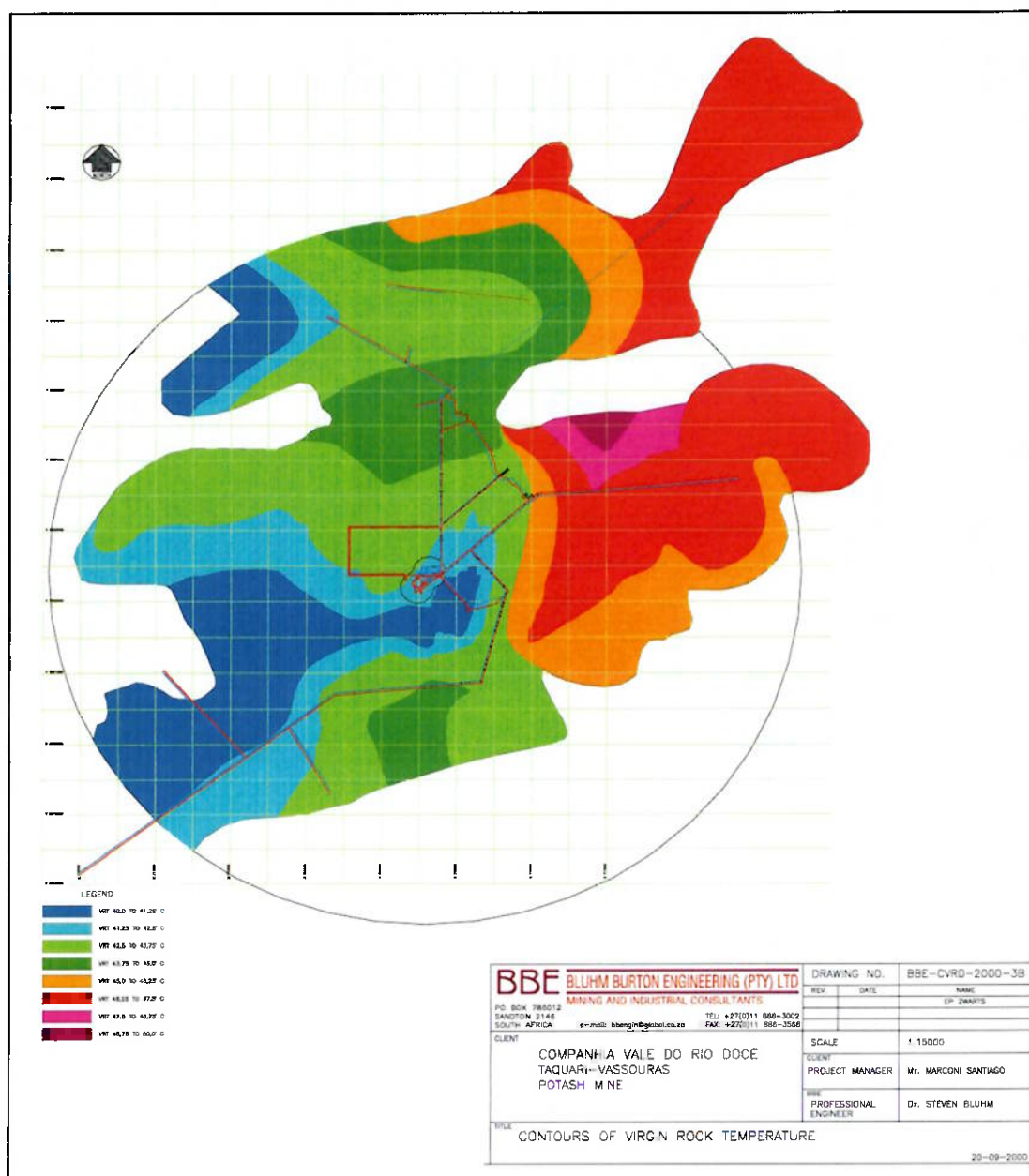


Figura 03 – Temperatura rocha virgem em relação ao traçado de lavra da mina

Fonte: Arquivos UOTV

O projeto para curto e médio prazo é um projeto de painel de lavra adaptado às modificações de campo nas áreas vizinhas já lavradas e ao projeto geral da mina. Sua validade é variável, pois sofre frequentes alterações. De posse da planta com os dados geológicos (estrutural), o projetista projeta novos painéis de lavra.

Na etapa de locação topográfica no painel de lavra novo, de posse do projeto, a topografia faz em campo a locação dos eixos das galerias e das correias transportadoras a serem montadas.

Na sondagem das frentes de lavra, definem-se os locais de futuros painéis a serem lavrados, visto que nesta etapa localizam-se as melhores condições de parâmetros técnicos para definição de exploração dos maciços.

O método de lavra é o de câmaras e pilares retangulares, e as câmaras de lavra são escavadas com os mineradores de rotores Marietta 900. O material desmontado é transportado pelos *Schuttle Car Joy* (carro de descarga – Figura 4) com capacidade de 15 t até o *Feeder Breaker*, considerando-se uma distância máxima de 150 metros entre o minerador e o *feeder*. Do *feeder* o minério é transportado por correias até o poço de produção de onde é içado para a superfície. Atualmente existem 5 frentes de lavra: 3 (três) painéis de lavra e 1 (um) eixo de desenvolvimento, e 1 praça de sondagem.



Figura 4 – Schuttle Car
Fonte: Arquivos Vale

Tabela 4 - Balanço de energia (exemplo painel de produção)

Fontes de calor gerado (kW)			
Marietta 900	460	Painéis de potência	25
Rocha	480	Frota <i>diesel</i>	65
Ventilador insuflador	20	Equipamentos elétricos diversos	65
<i>Schuttle cars</i>	40	<i>Feeder Breaker</i>	80
TOTAL: 1.235 kW			

Fonte: Arquivos UOTV

A mina de potássio possui dois poços, um para a extração e retorno de ar (Poço 1) e outro para transporte de pessoal, materiais e entrada de ar (Poço 2). A distância entre esses poços é de 250 m, ambos com 460 m de profundidade e 5 m de diâmetro.

O minério principal é a silvinita, constituída de halita e silvita, que apresentam as seguintes características básicas:

Halita

- Composição química: NaCl
- Granulometria: fina a grosseira
- Coloração: variados tons de cinza, localmente pode ser avermelhada devido a presença de óxido de ferro e translúcida.
- Impurezas: anidrita, carbonato de cálcio e argila.
- Condutividade térmica: 4,40 W/m°C
- Calor específico: 1,242 kJ/kg°C
- Densidade: 2.160 kg/m³
- Regra prática: a halita tem gosto de sal de cozinha.

Silvita

- Composição química: KCl + NaCl
- Granulometria: fina a grosseira
- Coloração: branco a vermelho escuro
- Impureza: argila
- Condutividade térmica: 4,32 W/m°C
- Calor específico: 1,193 kJ/kg°C
- Densidade: 2.150 kg/m³
- Regra prática: dar uma sensação picante na língua.

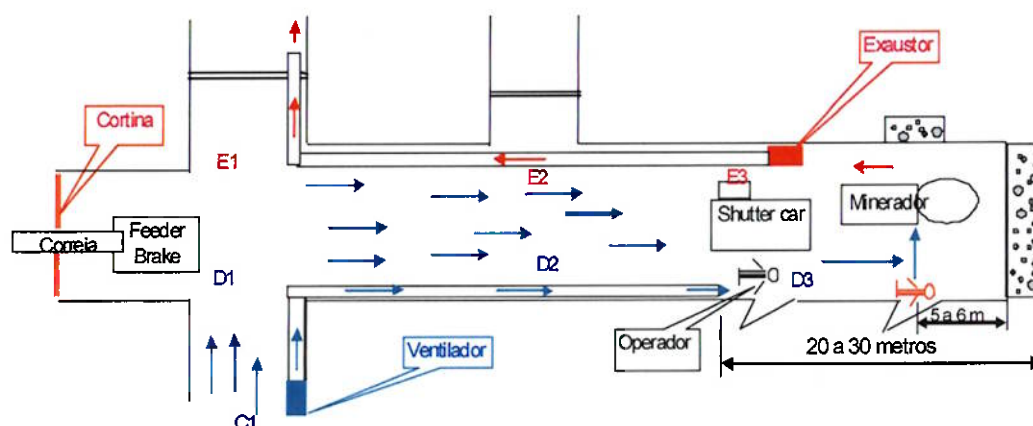
Tabela 5 - Características térmicas da rocha

Tipo de rocha	Condutividade térmica (W/m°C)	Calor específico (kJ/kg°C)	Densidade (kg/m ³)
Halita	4,40	1,242	2.160
Silvita	4,32	1,193	2.150
Carnalita	1,10	0,854	1.634

Fonte: Arquivos UOTV

A profundidade da lava subterrânea varia entre 430 e 640 metros. A operação inicia-se com abertura de eixos de acesso, iniciando o desenvolvimento para áreas de escavação de painéis de lava e o método adotado é o de câmaras e pilares. Para o desmonte nos painéis de lava são utilizados mineradores contínuos tipo *Marietta* e *schuttle car*, tipo *Joy*. Correias transportadoras conduzem o minério até o poço de extração (Poço 1) e neste, através do skid (elevador de minério) até a superfície.

POSICIONAMENTO DENTRO DOS PAINÉIS DE LAVRA



Para atender as condições de saúde e segurança nas operações de desmonte nos painéis, existe a necessidade do cumprimento de padrões operacionais, conforme croqui.

O método empregado para a ventilação é de superposição, que é uma combinação entre a ventilação insuflante e a aspirante (exaustão). Deve-se operar o equipamento dentro das regiões de ataque das correntes de ar, evitando a sobrecarga térmica.

Figura 5 – Esquema do painel de lava

Fonte – Arquivos UOTV

O beneficiamento do minério lavrado inicia-se na unidade de britagem, para reduzir a granulometria do ROM, seguido da unidade de concentração, composta por moinhos de barras, classificação em peneiras, deslamagem, flotação e centrifugação, onde o concentrado de KCl é obtido. A etapa seguinte consiste na secagem, num secador tipo leito fluidizado, visando reduzir a umidade do concentrado.

FLUXOGRAMA OPERACIONAL DO SUBSOLO

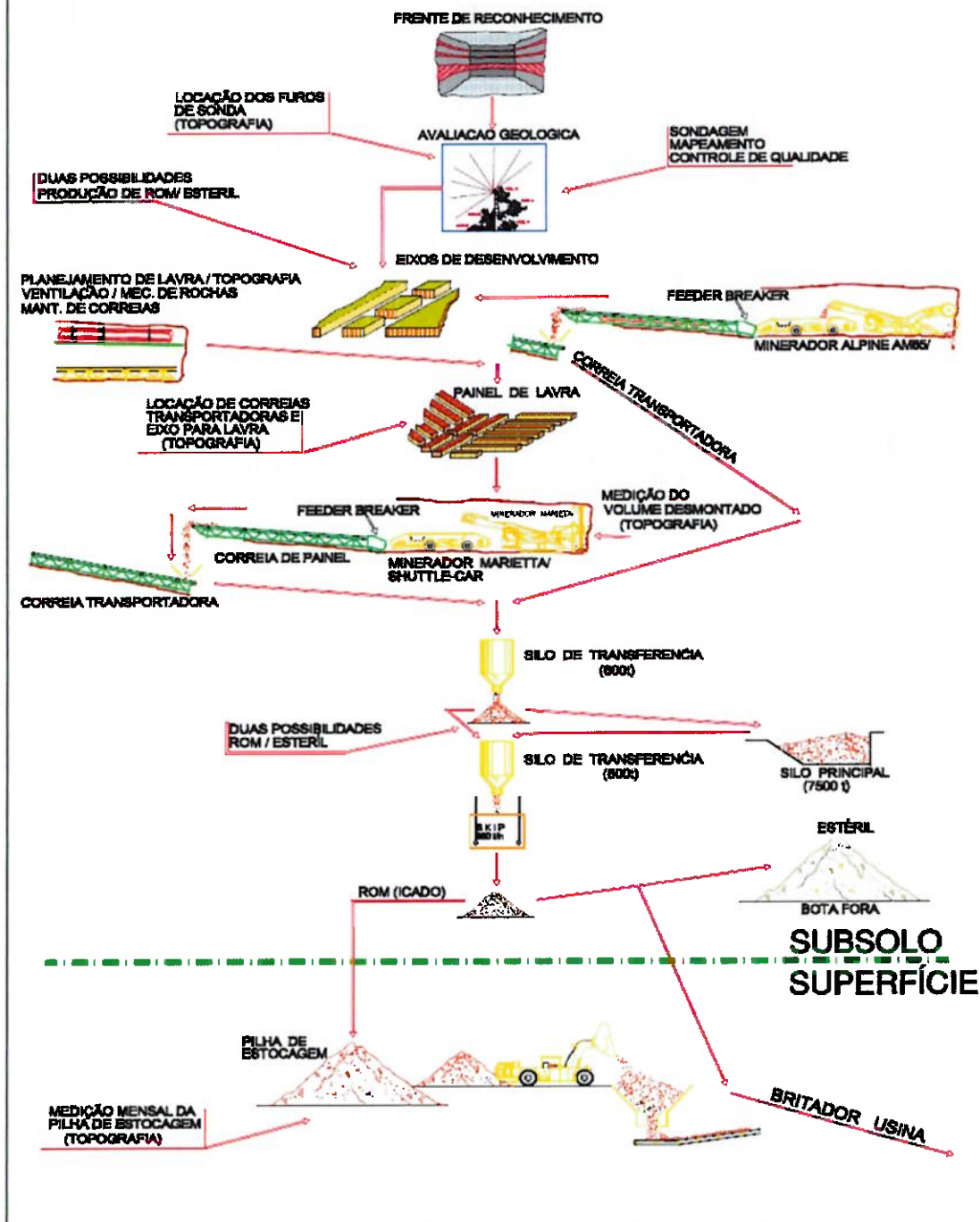


Figura 6 – Fluxograma operacional do subsolo

Fonte – Arquivos UOTV

07. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO E SEUS COMPONENTES

É importante destacar que o sistema de ventilação da UOTV é do tipo mecânico, com o auxílio de potentes ventiladores. Existem vários locais de tomadas de temperatura para o monitoramento ambiental e controle da vazão de ar na mina, variando-se conforme mudanças dos painéis de lavra, sondagem ou desenvolvimento (avanço da lavra), principalmente quando se tem uma bifurcação nas galerias. Neste caso acontece um sistema de ventilação auxiliar, onde se utiliza combinação por insuflação e por exaustão. A Figura 6 ilustra o fluxograma simplificado da planta de refrigeração em análise.

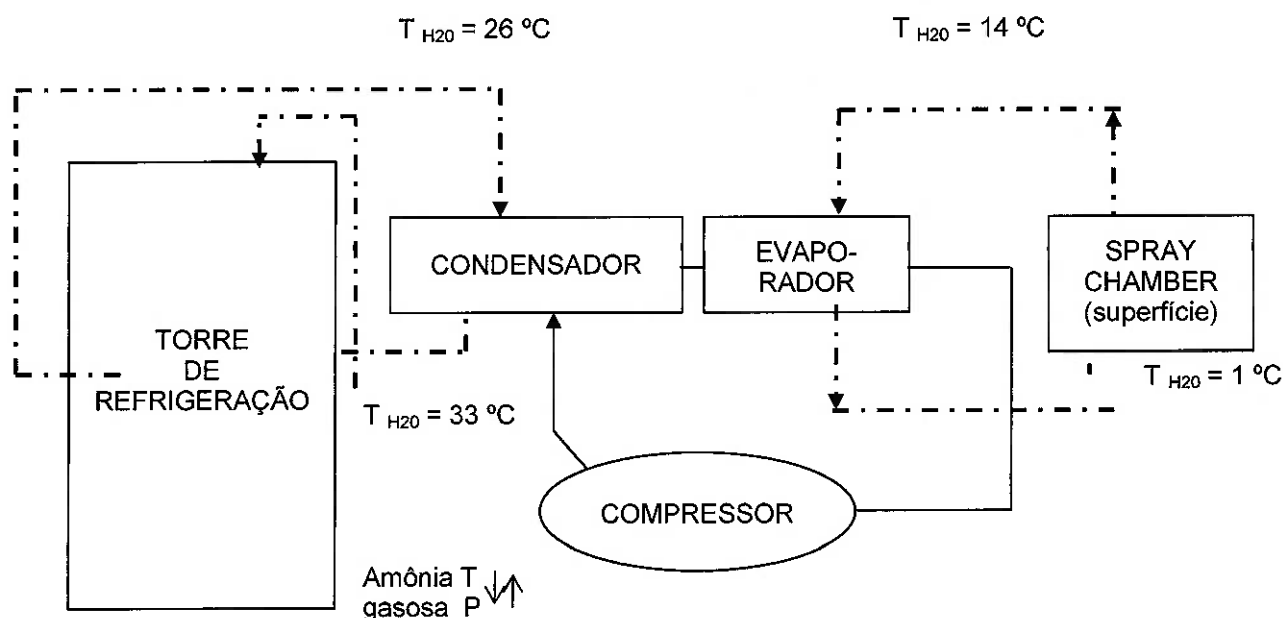


Figura 7 – Fluxograma simplificado da planta de refrigeração

Fonte – Arquivos UOTV

No Circuito de Condensação, a água adentra no trocador de calor (amônia (gás) + água) a uma temperatura de 26 °C, e troca calor com a amônia que está a temperatura e pressão altas, onde a água sai a uma temperatura de 33 °C e segue para a torre de refrigeração. Na torre de refrigeração existe o abaixamento da temperatura da água para voltar para o circuito de condensação. A amônia líquida sai do condensador a temperatura e pressão baixa e com o auxílio do compressor, segue para o circuito de evaporação.

No Circuito de evaporação, a amônia líquida troca calor com a água de evaporação; neste caso, acontece a mudança de estado físico da amônia, do estado líquido para o gasoso através da troca de calor com a água, que entra a uma temperatura de 14 °C e sai a 1 °C. A água gelada a 1 °C do circuito de evaporação vai para a câmara de spray da superfície, cuja finalidade é pulverizar a água mediante o auxílio de três ventiladores axiais os quais se situam antes do *spray chamber*. No *spray chamber* existe o separador de gotas que tem o objetivo de impedir que o máximo de gotas entre no circuito de refrigeração, uma vez que se trata de uma mina de Cloreto de Potássio altamente higroscópica. Sendo assim, o spray troca de calor com o ar ambiente, resfriando-o até a temperatura de 7 °C projetada.

O ar é aduzido à mina a 7 °C, através do sistema de ventilação mecânica, é composto por ventiladores na superfície e no subsolo. No subsolo existem dois ventiladores axiais de fabricação NEU, que estão localizados nas proximidades do poço 2, local de descida de pessoal e equipamentos. Os ventiladores são principais da mina, cada um com 1000 kW de potência, trabalhando em paralelo, gerando uma depressão de 250 mmca propiciando a entrada de 275 m³/s de ar, isto para as condições estabelecidas para o ângulo das pás. É importante ressaltar que os ventiladores são monitorados para a sala de controle da superfície. A seguir, dados dos ventiladores marca NEU que atuam na mina no sistema de ventilação principal:

- Volts - 4,16 Kv
- Potência Nominal - 1000 kW
- Corrente Nominal - 163 A
- Vazão Nominal - 160 m³/s
- Vazão Real - 140 m³/s
- Pressão Total - 465 mmca

Na ventilação auxiliar adotada nos painéis de lavra e desenvolvimento, os ventiladores tipo axiais insuflam e retiram o ar da mina através das galerias. Toma-se necessário vencer as perdas de carga do sistema nas vazões estabelecidas no projeto. De fato, consegue-se uma ventilação bem mais controlável tanto em relação a qualidade do ar que entra, quanto à distribuição do mesmo.

A preferência pela utilização de ventiladores axiais em detrimento dos centrífugos deve-se ao espaço físico ocupado pelos mesmos, maior facilidade para transporte, menor custo estimado de 20 a 25% mais baratos que os centrífugos, e manutenção. Convém ressaltar que existem dois fatores que influem numa análise errada do circuito de ventilação, podendo acarretar em medidas indevidas devido a:

- Erro de monitoramento ambiental em subsolo gerando anormalidades nos parâmetros de vazão e temperatura, uma vez que devem ser obedecidas técnicas pré-estabelecidas para o circuito;
- Erro de cálculos para o controle das medições dos parâmetros mais importantes, principalmente a vazão de entrada de ar puro em decorrência da indevida medição.

Estes erros são em muitas vezes, causados pela intervenção do homem em pontos de controle do fluxo de ar, relativos aos nós da malha do circuito de ventilação.

Conforme Hartman (1997), como as mais importantes propriedades para controle da quantidade são velocidade do ar e pressão, estes são encontrados em diversos pontos no subsolo, e problemas neste controle podem ser observados se notados, podendo ser contornados utilizando-se métodos numéricos para o controle do ar. Ainda, outras propriedades do ar tais como a temperatura e massa específica, podem ser controladas, visando-se assim, a segurança para com o condicionamento do ar, temperatura e umidade.

A Figura 8 ilustra um exemplo de uma situação real de condição de uma operação inadequada no subsolo, onde uma porta de ventilação (Figura 9) aberta pode provocar a diminuição da vazão de ar direcionada a determinado painel, provocando o aumento da temperatura e a consequente paralisação da atividade.

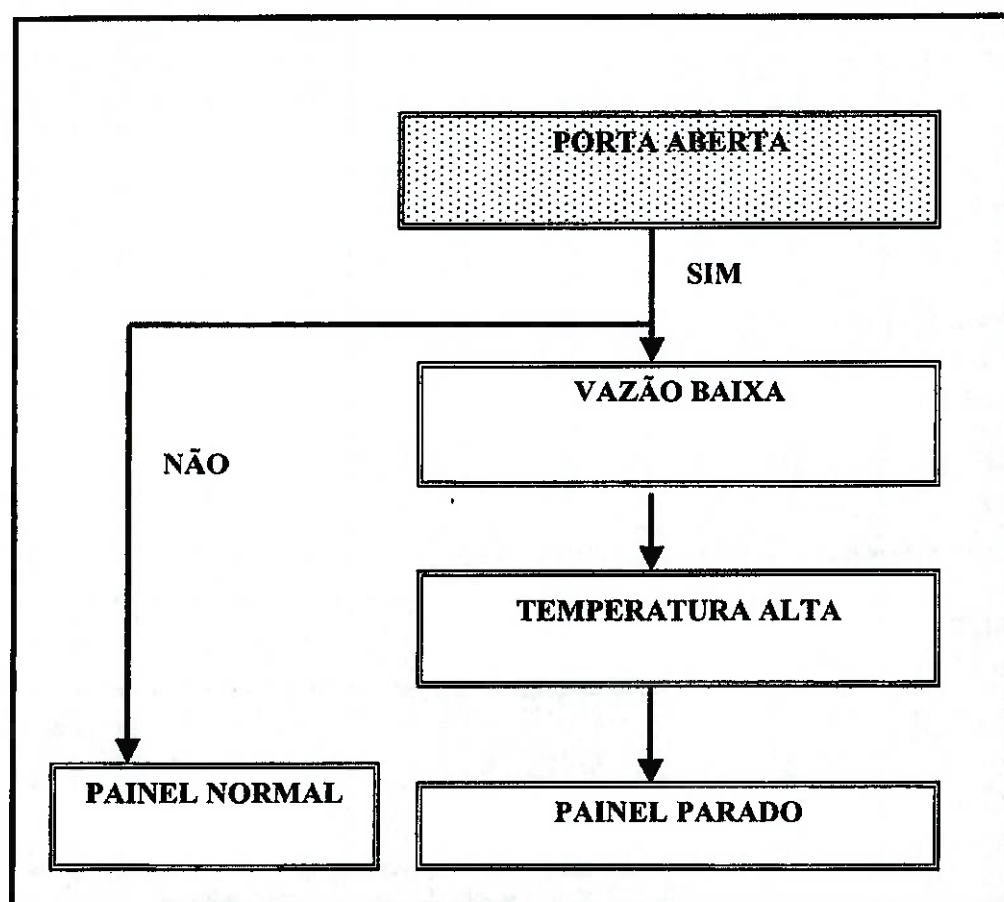


Figura 8 – Situação de operação inadequada
Fonte: Arquivos UOTV



Figura 9 – Porta de ventilação
Fonte: Arquivos UOTV

Sá (1997) preocupa-se meramente com o atendimento quanto aos padrões fixados pelas autoridades competentes. Isto ocorre no que se refere ao ambiente interno onde estão os trabalhadores expostos, devem ser observadas as NRs, especificamente a NR-15 (.....Insalubridade), que define os limites máximos a que pode estar exposto o operador ao calor, sem o comprometimento de sua saúde. Destaca-se a seguir, na Figura 8, o fluxograma do processo de ventilação e refrigeração.

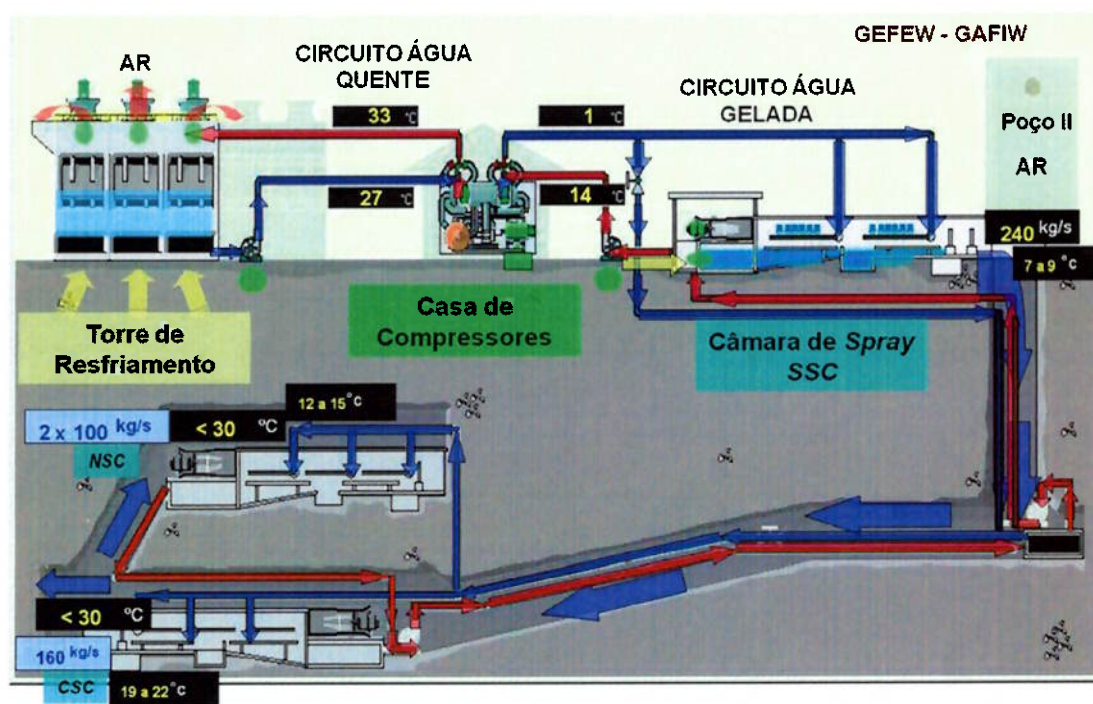


Figura 10 – Fluxograma do processo de ventilação e refrigeração
 Fonte: Arquivos UOTV

A montagem da Planta de Refrigeração Norte da Mina Subterrânea na UOTV (Figura 9) foi realizada pela Shaft Engenharia e Serviços Ltda., totalizando 350 t de estruturas, envolvendo a instalação de 2 ventiladores de 750 HP, bombas de diversas potências, turbinas de alta pressão, trocador de calor, tubulações, transformadores, cabos elétricos e instrumentação.



Figura 11 – Planta de refrigeração (Casa de máquinas dos compressores)
 Fonte: Arquivos OUTV(2006)

Essa Planta de Refrigeração é constituída basicamente dos seguintes elementos:

- Duas linhas de tubulação de 10" de diâmetro, com 6.000 m de extensão, em túnel situado no subsolo, a 410 m de profundidade;
- Duas linhas de tubulação de 14" de diâmetro, com 800 m de extensão, em poço vertical;
- Um Guincho de Produção, com potência de 2.000 HP, velocidade de 10,5 m/s e capacidade de 600 tph.
- Um sistema de içamento e estação de carga do Poço de Produção, incluindo *skips*, cabos de aço e modificação da estação de carga.

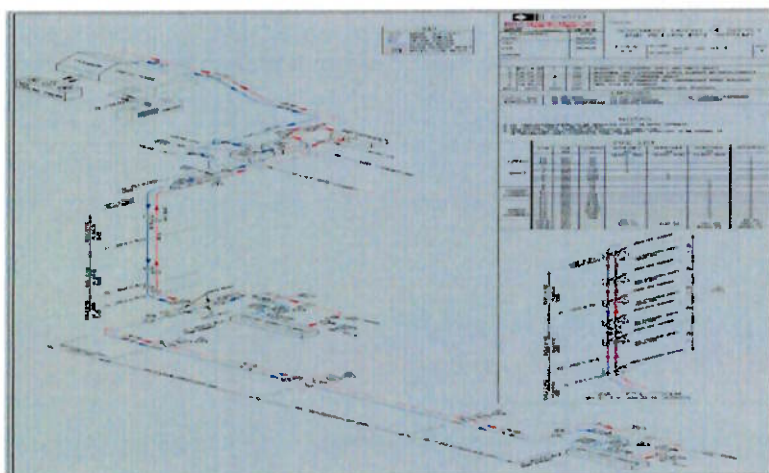


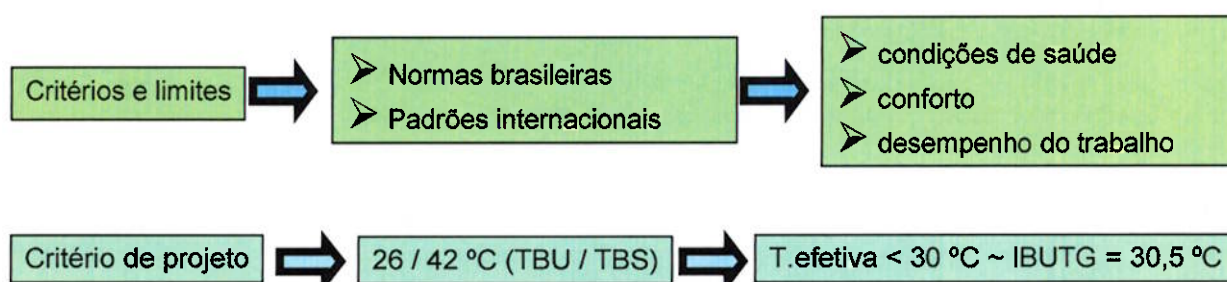
Figura 12 – Demonstração do circuito de refrigeração (Superfície e subsolo)
 Fonte: Arquivos OUTV

8. INSTRUMENTAÇÃO E MEDIDAS EFETIVADAS

Na fase anterior ao projeto de ventilação e refrigeração do ar, com recirculação e controle, coordenada pela Gerência Geral de Fertilizantes (GEFEW) da UOTV, havia unidades portáteis de refrigeração, com capacidade de 100 TR (tonelada refrigeração, que equivale a 12.000 BTU h). Dispunha-se de *spot cooler* (*pequenas plantas de refrigeração*), que apresentava os seguintes problemas: difícil manuseio durante as mobilizações, baixa capacidade térmica, pouca eficiência e altos custos de manutenção.

Os estudos para aumento da capacidade de ventilação e refrigeração foram iniciados em 1998, mas foram limitados pelos seguintes problemas: seção do único poço de adução do ar (poço 2); dificuldades na execução de novo *downcast* devido ao aquífero; grau geotérmico de 0,0186 °C/m (rocha virgem entre 43 e 48 °C); dissipação térmica dos diversos equipamentos; e profundidade e distanciamento das frentes. Por essas razões, foi contratada a *Bhuhm Burton Engieneering* (BBE), empresa sul-africana⁴ que, implantou o sistema de recirculação do ar com controle, utilizando-se câmaras de pulverização de água gelada (*spray chamber*), o que viabilizou a exploração além dos 5 km de raio (poço 2).

PARÂMETROS ADOTADOS NO PROJETO



⁴ Na África do Sul, minas de ouro, carvão e platina disponibilizam de recirculação controlada com refrigeração, que combate a poeira e proporciona conforto térmico (em minas profundas e de temperaturas elevadas), de modo que reduz custos em relação a: adicionais ventiladores, poços e galerias para caminhos do ar, recomendando que não exceda 50% da corrente de ar.

Viabilidade apresentada

- Ganhos na produtividade
- Melhores condições de trabalho
- Possibilitar exploração de painéis mais distantes e profundos.

O critério de projeto considera 26 / 42 °C (TBU / TBS) e temperatura efetiva < 30 °C ~ IBUTG = 30,5 °C. O cálculo da temperatura efetiva é efetuado pela eq.(1), como demonstrado a seguir:

$$\text{Temperatura efetiva} = 0,7 \times T_{bu} (\text{°C}) + 0,3 \times T_{bs} (\text{°C}) - v \text{ (m/s)} \quad (1)$$

Substituindo, tem-se:

$$\text{Temperatura efetiva} = (0,7 \times 26 \text{ °C}) + (0,3 \times 42 \text{ °C}) - 0,3 \text{ m/s} = 30 \text{ °C}$$

Convém advertir que a TBU > 27,5 °C causaria riscos à saúde do trabalhador, independentemente da taxa de trabalho e velocidade do ar.

No que se refere à TBS, a elevação de 5 °C na temperatura de bulbo seco promove o mesmo efeito fisiológico para um aumento de 1 °C na temperatura úmida, de modo que:

$$\frac{26}{37} \sim \frac{27^{\circ}\text{C}}{42}$$

Na fase inicial do projeto foi comissionada, em 2001, uma planta de refrigeração e uma câmara de pulverização (*Surface Spray Chamber*: 7 °C < T. projeto < 9 °C), com as seguintes características:

- 03 módulos de resfriamento com compressor tipo parafuso (NH₃)
- Trocadores de calor do tipo placas
- 01 torre de arrefecimento do ar com 03 células distintas
- 01 câmara de pulverização de água gelada



Figura 13 - Planta de refrigeração – Torre de arrefecimento de ar

Fonte – Arquivos Vale



Figura 14 - Planta de refrigeração – Torre de arrefecimento de ar

Fonte – Arquivos Vale



Figura 15 - Planta de refrigeração – Compressores tipo parafuso – NH_3
Fonte – Arquivos Vale



Figura 16 - Tanque de abastecimento água gelada para subsolo: admissão e retorno
Fonte – Arquivos Vale



Figura 17 - Tubulação de água gelada para subsolo – Poço 2

Fonte – Arquivos Vale

Na fase intermediária do projeto, em janeiro de 2004, foi implantada nova câmara de resfriamento de ar em subsolo (*Central Spray Chamber*) com o objetivo de realizar a recirculação do ar com controle em subsolo, através de maior flexibilidade e do aumento da capacidade do sistema de ventilação e refrigeração da mina. Os principais constituintes nessa fase do projeto são:

- 02 módulos de resfriamento: compressor centrífugo (R 134a)
- Trocadores de calor do tipo casco e tubos
- 01 torre de arrefecimento do ar com 03 células distintas
- 01 câmara de pulverização de água gelada (*Central Spray Chamber*)
- 01 ventilador axial de 160 kg/s ($135 \text{ m}^3/\text{s}$)

Na fase final do projeto, em abril de 2005, houve comissionamento de nova câmara de resfriamento de ar em subsolo, contendo:

- 01 novo módulo de refrigeração compressor centrífugo (R134a)
- trocadores de calor do tipo casco e tubos
- 02 ventiladores axiais de 100 kg/s ($60 \text{ m}^3/\text{s}$)
- 01 nova câmara de resfriamento de ar (*Norte Spray Chamber*)



Figura 18 - Tubulação de água gelada para área norte

Fonte – Arquivos Vale



Figura 19 e 20 - Ventiladores principais em subsolo do tipo axial

Fonte – Arquivos Vale



Figura 21 - Pulverização de água gelada – Câmara de resfriamento de ar

Fonte – Arquivos Vale

A *Norte Spray Chamber* situa-se a 3.000 metros de distância do poço de adução do ar à mina, Setor Norte.

Com a expansão do sistema de ventilação e de refrigeração, arranjo final do projeto disponibiliza de 06 unidades de resfriamento e de 03 circuitos (paralelos) x 02 unidades de resfriamento (série). Para a refrigeração, a temperatura água gelada é entre 1 e 3 °C. A evolução do projeto de ventilação e refrigeração pode ser visualizada na Tabela 4.

Tabela 6 – Sistema e ventilação e refrigeração

SISTEMA DE VENTILAÇÃO E REFRIGERAÇÃO			
Parâmetros	Fase inicial	Fase intermediária e Fase final	Total
Capacidade de refrigeração (TR)	3.659	4.785	8.444*
Potência elétrica instalada (MW)	4,1	6,6	10,7
Potência motora unitária (cv)	3 x 1.350	3 x 1.90	8.820
ÁGUA			
Vazão (l/s)			
Circuito de água gelada	240	180	420
Circuito de água de condensação	600	990	1.590
Temperaturas (°C)			
Circuito água gelada	14	1	
Circuito água de condensação	33	27	
AR			
Temperaturas (°C)			
	Entrada	Saída	
Superfície Spray Chamber	31	7 a 9	
Central Spray Chamber	37	18 a 20	
Norte Spray Chamber	35	14 a 16	
Vazão (m³/s)			
Superfície Spray Chamber	250	250	
Central Spray Chamber	Não	140	
Norte Spray Chamber	Não	2 x 60	
Caudal circulante	250	450 ou 510	

Fonte: Arquivos UOTV

*** 10.132 ACJ de 10.000 BTU/H**

O controle do sistema de ventilação e refrigeração é realizado com o auxílio do Painel View, através do software Overview, ilustrado na Figura 11. Através deste programa todo o sistema é acompanhado e controlado via sala de controle da mina. O mesmo informa não somente a temperatura nos diversos estágios, bem como a possível ocorrência de vazamentos, com conseqüente interrupção automática das linhas em função da queda de pressão nas mesmas.

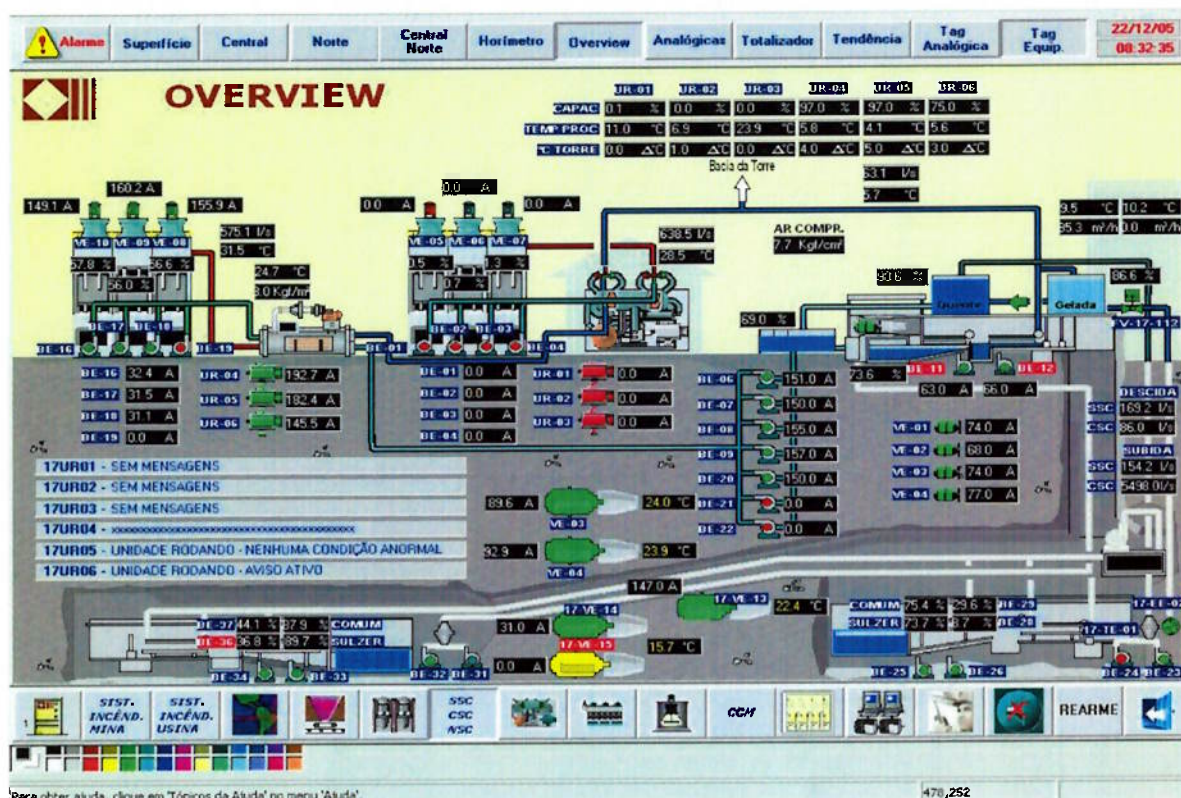


Figura 22 – Controle supervisorio
Fonte: Arquivos UOTV

09. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em termos normativos, o projeto atende às Normas brasileiras e a padrões internacionais, especificamente no que concerne a condições de saúde, conforto e desempenho do trabalho.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DE SEGURANÇA

São dois os aspectos a serem verificados



✓ Segurança contra incêndio

✓ Segurança contra vazamentos de amônia

➤ Riscos na ocorrência de incêndio com: recirculação de fumaça

Medidor de CO: 0 a 160

ppm

LTV: 39 ppm

Condição normal: 2 ppm

Alarme: maior que 6 ppm

2 x alarme = *shut down*

ventilador

- 01 antes do *spray* (ar de entrada / retorno)
- 02 após câmara de resfriamento
- sistema desliga: nível de CO em pelo menos 2 sensores
- sistema de recirculação paralisado totalmente
- sistema de água é paralisado parcialmente
- turbina: paralisada

➤ Riscos na ocorrência de vazamento de amônia: contaminação ambiente por amônia

Medidor NH₃: 0 a 100 ppm

LTV: 20 ppm

Alarme: maior que 10 ppm

Shut down 20 ppm:

ventilador + bombas + turbina

(dissipador)

- 02 instalados após a câmara de resfriamento
- sistemas paralisados totalmente
- sistema de ventilação
- sistema de pulverização(circuito de água)

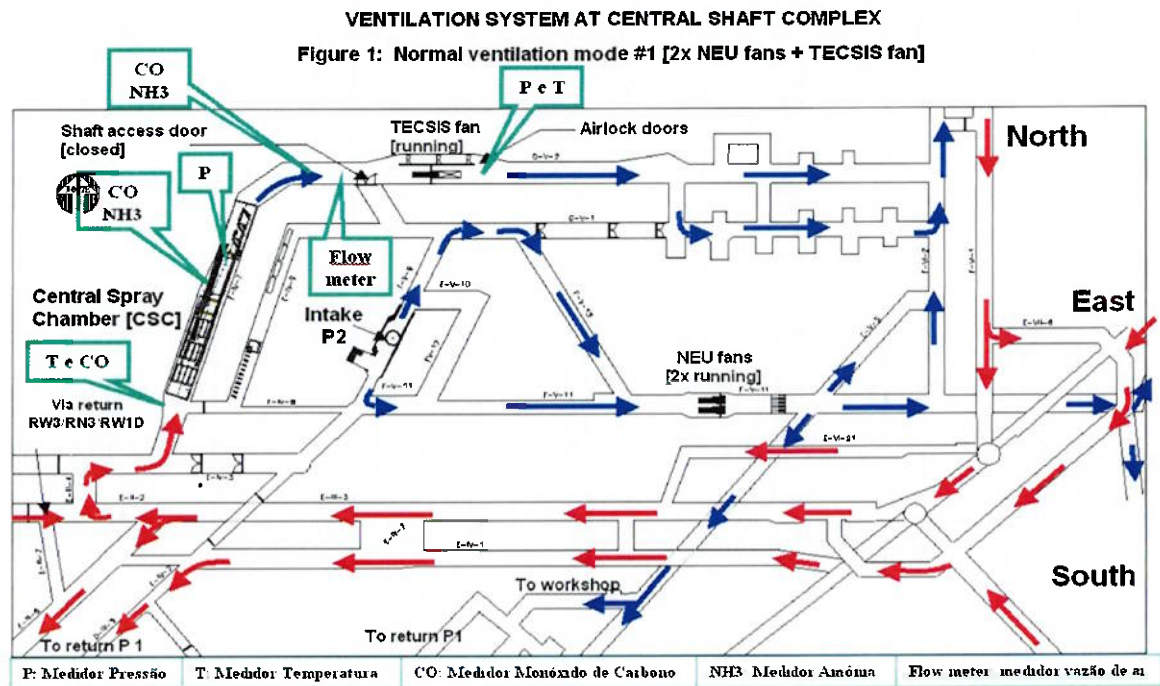


Figura 23 – Segurança: medidores CO, NH₃ e outros
Fonte: Arquivos UOTV

Buscando alcançar o objetivo deste estudo, sobretudo no sentido de corroborar os benefícios decorrentes da ampliação do sistema de refrigeração na mina da UOTV, foram analisadas as etapas do projeto de implementação desse sistema, até a fase atual. Neste sentido, considera-se a necessidade de proporcionar e manter o conforto térmico na mina subterrânea da UOTV.

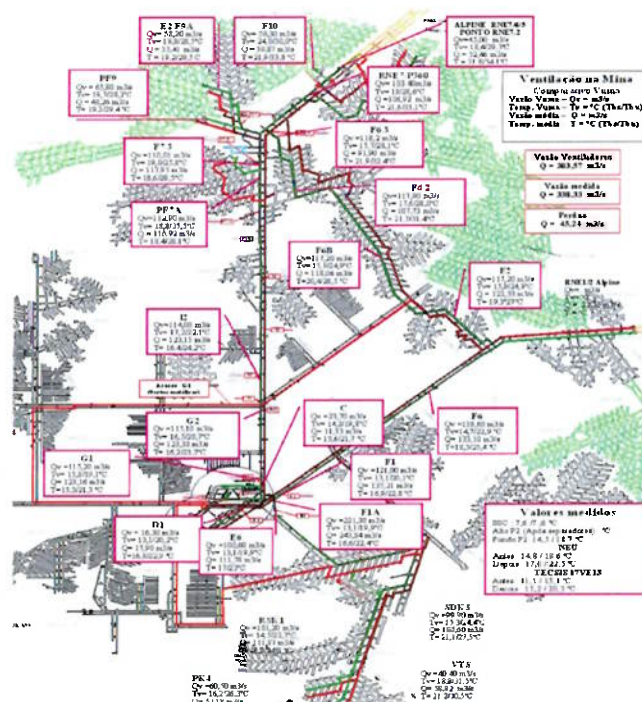


Figura 24 – Acompanhamento temperatura da mina
Fonte: Arquivos UOTV

Simulação Software Vuma



Figura 25 – Simulação de parâmetros que viabilizem a expansão da lavra

Fonte:Arquivos UOTV

RESULTADOS PÓS IMPLANTAÇÃO

Enquadramento das funções no Quadro 1, Anexo 3, NR 15 por tipo de atividade do grupo homogêneo: O regime de trabalho é intermitente com períodos de descanso no próprio local de prestação de serviço.

Nos resultados obtidos observamos que há variação do enquadramento do regime de trabalho, de acordo com o valor do IBUTG obtido. Temos situações térmicas permitindo o trabalho contínuo.

Na observação de campo verificamos que há pausas curtas e freqüentes. Quanto mais freqüentes e menores as pausas, melhor será a recuperação do empregado e tanto melhor poderá manter seu ritmo de trabalho.

Como nas funções de operação de SHUTTLE CAR e MINERADOR CONTÍNUO os valores médios do IBUTG ficaram acima de 30⁰ C, estas funções são caracterizadas como insalubres, em grau médio, de acordo Anexo 3, NR 15, Portaria 3.214, de 08/06/78;

Tabela 7 - NORMA REGULAMENTADORA N.15 - ANEXO N. 3

REGIME DE TRABALHO INTERMITENTE COM	TIPO DE ATIVIDADE		
DESCANSO NO PRÓPRIO LOCAL DE TRABALHO	LEVE	MODERADA	PESADA
Trabalho Contínuo	Até 30,0	até 26,7	até 25,0
45 min. trabalho	30,1 a 30,6	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 min. trabalho	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 min. trabalho	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitido o trabalho sem adoção de medidas adequadas de controle.	Acima de 32,2	acima de 31,1	acima de 30,0

Fonte: Normas Regulamentadoras (Portaria 3214, de 8-6-1978)

O aumento da produtividade se torna validado tanto em termos de operacionalização, como em termos de extensividade da mina, uma vez que, sem a implantação da expansão do sistema de refrigeração no subsolo, não haveria viabilidade para lavra em parte significativa dos painéis que hoje estão em plena operação.

GERÊNCIA GERAL DE FERTILIZANTES

IV GEFEW 002 B

PRODUTIVIDADE DO DESENVOLVIMENTO (t/h)



Figura 26 – Índices de produtividade

Fonte: Arquivos UOTV

10. CONCLUSÕES

Durante o levantamento de dados foram constatados fatores relevantes de ordem comportamentais, como a má conservação dos componentes do circuito de ventilação, tais como tapumes, portas, dutos e outros que influenciam na distribuição de ar para as frentes de lavras, sondagem, desenvolvimento, correias transportadoras e em todos os locais de trabalho desenvolvidos no subsolo, são responsáveis pela variação de temperatura.

Visando-se o pleno atendimento dos fatores relativos ao controle da temperatura destacam-se como variáveis de controle: a vazão do ar, que adentra no sistema de refrigeração com 275 m³/s continuamente; a velocidade do ar; a umidade relativa de 30%, constatando-se que a temperatura no interior da mina encontra-se na faixa de 29 a 31^oC que estão de acordo com a NR 15 e as normas de mineração subterrânea.

Antes da implantação do novo sistema de refrigeração percebeu-se junto ao setor médico que havia certa frequência de trabalhadores com problemas de intermação e de pele. Porém, após esta fase constatou-se a ausência dos problemas de intermação embora ainda persistem problemas de fadiga, irritações na pele, dentre outros. Contudo estes números não representam níveis preocupantes considerados. No período de estudos realizados na CVRD para a obtenção de fatos e dados com o objetivo de conhecer e desenvolver o tema "A influência do conforto térmico na ventilação" observou-se que 4 fatores mereceram destaque para o estudo de caso como:

- O homem, como fator determinante para todo e qualquer objeto de desenvolvimento de um projeto;
- A Segurança e o meio ambiente ligados a manutenção da qualidade de vida do homem;
- O Comportamento como uma cultura e, portanto, um elemento que pode determinar o resultado eficaz como a qualidade de vida do homem;

- A tecnologia, como um recurso utilizado para assegurar melhores condições de trabalho e de segurança para o trabalhador, além dar maior confiabilidade dos resultados obtidos;

Adotando o IBUTG médio = $30,3^{\circ}$ C ou o maior valor medido de 31° C, mesmo a atividade sendo caracterizada como moderada, o trabalho poderá ser permitido com a adoção de medidas adequadas de controle, a exemplo dos locais de descanso estabelecidos.

Consideramos ainda que a Planta não chegou à sua capacidade plena pois a rocha necessita de tempo para ir trocando calor e se resfriando ao longo do tempo.

Devemos controlar várias variáveis ao mesmo tempo, e se muitas vezes perdermos o controle de uma dessas variáveis, nós poderemos comprometer todo ou quase todo sistema de ventilação de uma mina. Consideramos também que a mina continua em expansão e o sistema precisa ser constantemente reavaliado.

Em termos operacionais há um corpo técnico voltado para desenvolver sistemas de automação e avaliação de dados obtidos diariamente "in loco" para monitorar os principais parâmetros dos circuitos de ventilação. Contudo, observa-se que ainda tem muito para desenvolver em termos de métodos organizacionais e educativos para que os trabalhadores assimilem os conhecimentos essenciais como compreensão de conceitos e técnicas que permitam aos envolvidos saibam executar melhor as suas tarefas com segurança e com espírito de equipe, a fim de serem atingidas condições térmicas ambientais mais adequadas. Isto porque, baseando-se em dados obtidos através do estudo de caso constatou-se que apesar da implantação de um novo sistema de refrigeração, observou-se que as atitudes comportamentais ainda não estão condizentes com os investimentos tecnológicos implantados.

Desta forma pode ser sugerido um trabalho de conscientização, através de treinamentos para uma melhor utilização dos recursos empregados para manter o objetivo deste projeto que foi desenvolvido para atender uma condição de conforto térmico satisfatória no subsolo.



Figura 27 – Porta de ventilação danificada
Fonte: Arquivos UOTV



Figura 28 – Dutos rasgados no acoplamento
Fonte: Arquivos UOTV



Figura 29 – Estrangulamento de dutos
Fonte: Arquivos UOTV



Figura 30 – Acoplamento errado entre dutos
Fonte: Arquivos UOTV



Figura 31 – Cortina aberta no painel de lavra
Fonte: Arquivos UOTV

O atual sistema de refrigeração, por se tratar de tecnologia nova empregada, exige que os responsáveis pelo controle e planejamento das atividades de ventilação possam atuar na capacitação de forma a antecipar falhas humanas, através de

treinamentos adequados à realidade do processo atual do que diz respeito ao conforto térmico. Um dos exemplos mais importantes é o do treinamento incompleto em um processo complexo, como ventilação em mina subterrânea. Tendo em vista a complexidade de um processo que depende de várias interfaces para que a atividade obtenha os melhores resultados da climatização no sistema produtivo. Sendo assim, pode-se sugerir um trabalho de conscientização da importância dos principais fatores favoráveis à condição de trabalho do homem.

A necessidade de um período de maturação e aprendizado tanto por parte dos envolvidos no planejamento das novas atividades como também por parte dos trabalhadores do subsolo, face às novas situações inerentes ao sistema, o qual ainda está formando um histórico de ocorrências, procedimentos operacionais e comportamentais inéditos no processo de refrigeração. Sendo assim, é notório que a melhor tecnologia não é garantia de um sistema operando perfeitamente, se não houver uma sinergia entre o homem e os fatores que compõem todas as condições para atender dados satisfatórios ao conforto térmico, não relacionado ao previsto na NR 17 (Ergonomia) e sim à NR 15.

Deste modo, para um bom desempenho dos treinamentos da empresa, é necessária a adoção de algumas medidas, a fim de minimizar os problemas de conforto térmico que envolve uma parte dos trabalhadores da mina da CVRD. A seguir, algumas recomendações:

1. Casaco Térmico (utilizado na África do Sul) para os trabalhadores que exercem atividades laborais em circuito de retorno. Este casaco promove maior sensação de conforto, devido conter um gel específico para proporcionar frescor ao metabolismo.
2. Maior ingestão hídrica.
3. Adoção da temperatura do ar menor ou igual a 36,5° C para insuflamento, utilizando-se tecnologias voltadas para minimizar temperaturas, como exemplo, o sistema de reaproveitamento de ar para aumentar a vazão e melhorar assim as condições térmicas.

4. Maior conscientização dos trabalhadores da necessidade da importância do sistema de refrigeração, para garantir o conforto térmico durante a jornada de trabalho, através de um treinamento específico de conservação e manutenção das novas tecnologias implantadas no sistema de ventilação, mediante uso de cartilhas explicativas e treinamento *in loco* (*on job trainner*).

Ponderando que não se possui um pleno conhecimento de novas tecnologias empregadas para atenuar a geração de calor no ambiente subterrâneo sem influir na capacidade e produtividade da mina, sugere-se que novos estudos venham a ser desenvolvidos nas áreas geológica, mecânica e hidráulica, para melhorar a carga térmica emitida e sentida pelo homem, podendo ainda trabalhar nas sensações de conforto minimizando problemas de fadiga, estresse, e outras doenças inerentes a altas temperaturas.

FOCOS A SEREM ADOTADOS

- Conscientização e a formação de todos os profissionais que frequentam (ou trabalham) no subsolo para a real importância da ventilação e a necessidade de uso dos procedimentos básicos de operação do sistema para que situações negativas não ocorram, como por exemplo, a perda de ar causada pela abertura de uma porta ou cortina antes de sua chegada ao painel de lavra.
- As metas estão lançadas e hoje mais do que nunca muito do que se pretende de aumento de produção do projeto passa pelo crivo da necessidade de ar, consequente redução do calor e melhor conforto para o trabalhador, de forma que este se encontre em melhores condições de contribuir para o alcance das metas produtivas e preservação da oportunidade de trabalho.
- O reconhecimento de que os investimentos feitos devem ser otimizados tendo a perspectiva de manutenção constante e melhorias para suporte as novas frentes que se estendem em direção as áreas mais aquecidas.

11. REFERÊNCIAS

ANDRADE JR., F. A. **Proteção do ambiente e higiene das minas**: Departamento de Ciências e Tecnologia dos Materiais (DMTM). Salvador: UFBA, 1997.

ANSI/ASHRAE. **American National Standards Institute** / Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Thermal environment conditions for human occupancy.

BOSSLE, D. Entre o céu e o inferno. **Revista Proteção**, São Paulo, 128 ed., p. 30-44, ago., 2002.

BURROWS, J. et al. Environmental Engineering in South African Mines. South African, 1989.

CIOCCI, M. V. Qualidade do ar de interiores, requisito para a saúde ocupacional. **Revista Cipa**, São Paulo, p. 24-29, abr., 2003.

CLEZAR, C. A; NOGUEIRA, C. R. **Ventilação industrial**. Florianópolis: Ed .UFSC, 1999.

COUTO, H. A. **Ergonomia aplicada ao trabalho**. Manual técnico da máquina humana. Belo Horizonte: Ergo, v. 1, 1995.

CREDER, H. **Instalações de ar condicionado**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

EDMINISTER, J. A. **Circuitos elétricos**. São Paulo: Ed Mcgrill do Brasil Ltda., 1976. Coleção Schaumm.

HARTMAN, H. et al. **Mine ventilation and air conditioning**. 3rd ed., p. 178, 267-269, New York, 1997.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 4. ed. São Paulo: Nobel, 2000.

GERMANI, Darcy José. **A Mineração no Brasil**: Relatório Final. Rio de Janeiro: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), 2002.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIRODO, Antônio Carlos. **Projeto APA Sul RMBH**: mineração, escala 1:50.000. Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005.

GRAMIGNA, M. R. **Modelo de competências e gestão dos talentos**. São Paulo: Makron Books Ltda., 2002.

JHONSON, B. **Projeto MMSD**. Relatório do Brasil. Disponível em <<http://www.mmsdla.org/informes/nacionales/infnacbrasil.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2009.

LOPES, O. G. **Conforto térmico e qualidade do ar em ambientes**: termodinâmica e controle térmico de ambientes pela UNISANTA. Disponível em <<http://www.unisanta.br>>. Acesso em: 15 dez. 2009.

MACINTYRE, A. J. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1990.

MANUAL. Manual de Legislação Atlas de Segurança e Medicina do Trabalho. 49. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MESQUITA, A. L. S; GUIMARÃES, F. A. **Engenharia de Ventilação Industrial**. São Paulo: USP, 1985.

NAHASS, S. et al. **Mineração no Brasil**. São Paulo, 2001.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima**: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Ed. Gustavo Gili S.A., 1998.

OLIVEIRA, T. A.; RIBAS, O. T. **Controle das condições ambientais de conforto**. Brasília 1995.

RIBEIRO JR., L. **Clima e conforto humano**. Cabano Engenharia. Disponível em: <<http://www.cabano.com.br>>. Acesso em: 20 nov. 2009.

RORIZ, M. **Zona de conforto térmico** – Um estudo comparativo de diferentes abordagens. 1987. 133f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

RUAS, A. C. Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificadas e sua aplicação num software. In: V Semana da Pesquisa de Segurança e Medicina do Trabalho. **Anais...**, set. 2002, p. 02-30/23-27. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br>>. Acesso em: 15 jan. 2010.

SÁ, A. Risco de explosão. **Safety Guide**. Disponível em <<http://www.safetyguide.com.br/artigos/perigexpl.html>>. Acesso em: 15 jan. 2010.

STOEKER, W. F.; JONES, J. W. **Refrigeração e ar condicionado**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.

TORREIRA, R. P. **Segurança industrial e saúde**. São Paulo: Libris, 1987.