

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**AVALIAÇÃO DE CONDIÇÕES DE QUALIDADE DO AR EM MINA  
SUBTERRÂNEA**

**Boris Ferreira Gancev**

São Paulo  
2006

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**AVALIAÇÃO DE CONDIÇÕES DE QUALIDADE DO AR EM MINA  
SUBTERRÂNEA**

Trabalho de formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
Obtenção do título de Graduação em Engenharia

Boris Ferreira Gancev

Orientador: Arlindo Tribess

Área de Concentração:  
Engenharia Mecânica

São Paulo  
2006

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Gancev, Boris Ferreira**

**Avaliação de condições de qualidade do ar em mina subterrânea / B.F. Gancev. -- São Paulo, 2007. 93 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia Mecânica.**

**1.Qualidade do ar 2 .Ventilação 3. Conforto termocorporal 4. Mina subterrânea 5. Normas técnicas I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. II.t.**

## RESUMO

Este estudo tem como objetivos levantar as principais questões relacionadas ao conforto térmico e à qualidade do ar no interior de minas subterrâneas, bem como realizar a análise das normas técnicas e sua aplicação. Para a avaliação das condições de qualidade do ar e conforto térmico em mina subterrânea, foram realizadas avaliações na mina Cuiabá, onde foi possível mensurar variáveis relevantes como: temperatura de bulbo seco, bulbo úmido, temperatura radiante média, velocidade do ar, e concentrações de oxigênio e metano em determinados locais no interior da mina.

O trabalho mostra como é feito o monitoramento das condições de conforto térmico e qualidade do ar em uma mina subterrânea. Com os dados coletados foi possível verificar o cumprimento das normas NR 15 e NR 17, referentes aos índices IBUTG e TE, e da NR 22, referente ao sistema de ventilação, para os pontos medidos no interior da mina. Os níveis críticos de metano, dióxido de carbono e monóxido de carbono, não são atingidos. A concentração de oxigênio esteve acima do mínimo necessário.

Com o levantamento das características geométricas da mina; como comprimento dos níveis de exploração, áreas das seções transversais em cada nível, rugosidade das paredes internas, vazão de ar insuflado e a utilização de um software de ventilação, foi possível realizar simulação da diferença de pressão a ser fornecida pelo ventilador principal em função da vazão necessária. Concluiu-se que os ventiladores utilizados na mina estão de acordo com os resultados da simulação. Assim, a saúde dos trabalhadores está garantida, não somente sob o aspecto térmico, mas também sob o aspecto da qualidade do ar.

**Palavras-chave:** qualidade do ar, conforto termo-corporal, ventilação, mina subterrânea, normas técnicas.

## ABSTRACT

This study had as objectives, raising the main questions related to the thermal comfort and air quality inside an underground mine facility as well as analysing the related technical rules and their applications. To evaluate the thermal comfort and air quality conditions inside the underground mine, a technical visit was done to the Cuiaba mine, where it was possible to measure the relevant variables such as: dry temperature, humid temperature, average radiant temperature, air velocity, oxygen and methane concentrations in certain places inside the facility.

This work shows how thermal comfort and air quality conditions, inside an underground mine, are monitored. With the collected data it was possible to verify obeying the relevant technical rules, NR 15 and NR 17 related to the IBUTG and TE index respectively and NR 22 related to the ventilation system, for every location used for measurements. The critical levels of methane, carbon dioxide and carbon monoxide were not reached. The oxygen concentration was above the minimal level required.

With the measurement of the geometric characteristics of the mine; such as the length of each mining level, the cross section area for each of these levels, internal walls rugosities, the air flow inflated and by using a ventilation software, it was possible to simulate the pressure differential to be supplied by the main fan as a function of the necessary air flow and it was concluded that the fans installed on the mine are in accordance with the results of this simulation. Therefore, the workers health is granted, not only under the thermal aspect but also under the air quality aspect

**Key-words:** air quality, thermal comfort, underground mine, ventilation, technical norms.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	7
LISTA DE FIGURAS .....	8
1 INTRODUÇÃO .....	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	10
2.1 SEGURANÇA DO TRABALHO .....	10
2.2 CARACTERÍSTICAS DA MINERAÇÃO .....	12
2.3 LAVRA SUBTERRÂNEA .....	13
2.4 CARACTERÍSTICAS DO AR NO INTERIOR DA MINA .....	14
2.4.1 GASES TÓXICOS .....	16
2.4.2 GASES EXPLOSIVOS .....	17
2.5 MONITORAMENTO E CONTROLE DE GASES .....	18
2.5.1 DETECTORES DE GASES .....	18
2.5.2 CONTROLE DE GASES .....	20
2.6 MATERIAL PARTICULADO (POEIRA) .....	22
2.7 ENFERMIDADES RELACIONADAS À QUALIDADE DO AR .....	23
2.7.1 SILICOSE .....	24
2.7.2 PULMÃO NEGRO .....	26
2.7.3 ASBESTOSE .....	27
2.7.4 PNEUMOCONIOSE BENIGNA .....	30
2.8 VENTILAÇÃO SUBTERRÂNEA .....	30
2.8.1 A NORMA NR 22 .....	34
2.8.2 DIMENSIONAMENTO DO VENTILADOR .....	35
2.9 CONFORTO TERMOCORPORAL .....	37
2.9.1 CONDIÇÕES TÉRMICAS NÃO UNIFORMES E DESCONFORTO LOCAL 40	
2.9.2 A ANÁLISE DE FANGER .....	41
2.9.3 NORMA NR 15 .....	44
2.9.4 ÍNDICES DE EXPOSIÇÃO AO CALOR .....	47
2.9.5 EFEITOS DO CALOR NO SER HUMANO .....	52
3 A EXPLORAÇÃO DO OURO NO BRASIL .....	57
4 MINA AVALIADA .....	59
4.1 LOCALIZAÇÃO .....	61
4.2 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO INTERIOR DA MINA .....	61
4.2.1 CABEAMENTO .....	62
4.2.2 PERFURAÇÃO .....	62
4.2.3 CARREGAMENTO DE EXPLOSIVOS .....	63
4.2.4 DETONAÇÃO .....	64
4.2.5 VENTILAÇÃO .....	64
4.2.6 SANEAMENTO .....	64
4.2.7 LIMPEZA DO MINÉRIO .....	64
4.2.8 ENCHIMENTO HIDRÁULICO .....	65
4.2.9 AMOSTRAGEM E TOPOGRAFIA .....	65
4.3 CRITÉRIOS ADOTADOS PELA MINA CUIABÁ PARA O SISTEMA DE VENTILAÇÃO .....	66
4.3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS REALIZADOS NA MINA .....	67
4.4 O PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DO IBUTG SUGERIDO PELA FUNDACENTRO .....	69
4.5 A INADEQUAÇÃO DA ÁRVORE DE TERMÔMETROS EM MINAS SUBTERRÂNEAS .....	71

5	RESULTADOS.....	74
5.1	MEDIÇÕES E AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA EQUIVALENTE E DO ÍNDICE IBUTG.....	74
5.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	76
5.3	DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES E DO DIFERENCIAL DE PRESSÃO DO VENTILADOR PRINCIPAL.....	79
6	CONCLUSÕES.....	84
7	REFERÊNCIAS.....	86

## ANEXOS

ANEXO I - ÁBACO PARA CÁLCULO DA TEMPERATURA EFETIVA  
ANEXO II - FORMULÁRIO DE ACOMPANHAMENTO DO IBUTG

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos gases no interior de minas.....	15
Tabela 2 - Rendimento de trabalhadores em função da temperatura ambiente (ESTON, 2005).....	38
Tabela 3 - Temperatura de rocha em função da profundidade (ESTON, 2005).....	38
Tabela 4 - Regime de trabalho em função do IBUTG (em °C) obtido (NR 15).....	45
Tabela 5 - Classificação do tipo de atividade (NR 15).....	45
Tabela 6 - Limites máximos de IBUTG em função do metabolismo.....	46
Tabela 7 - Distribuição dos fluxos volumétricos de ar de alimentação da mina Cuiabá.....	67
Tabela 8 - Temperatura efetiva para determinados pontos no interior da mina Cuiabá.....	75
Tabela 9 - IBUTG médio do mês de outubro de 2006.....	76
Tabela 10 - Valores de medição no interior da mina em locais com TE dentro dos limites estabelecidos pela NR 22.....	78
Tabela 11 - Valores de medição no interior da mina em locais com TE acima dos limites estabelecidos pela NR 22.....	78
Tabela 12 - Vazões de ar em função do número de pessoas e potência instalada.....	81
Tabela 13 - Diferencial de pressão a ser fornecido pelo ventilador principal.....	82

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de funcionamento dos medidores PID (Clean News, 2002) .....	18
Figura 2 - Esquema de funcionamento dos medidores FID (Clean News, 2002) .....	19
Figura 3 - Esquema de funcionamento de um sensor catalítico (Clean News, 2002) .....	20
Figura 4 - Vazão total diluidora.....	33
Figura 5 - Ventilação auxiliar (condução de ar fresco nas frentes de lavra).....	34
Figura 6 - PPD devido ao desconforto local (ASHRAE handbook 2001 - Fundamentals).....	40
Figura 7 - PPD devido à velocidade média do ar (ASHRAE handbook 2001 - Fundamentals) .....	41
Figura 8 - Tipos de vestimentas e suas resistências térmicas.....	42
Figura 9 - Percentual de pessoas insatisfeitas em função do voto médio estimado .....	43
Figura 10 - Localização da mina Cuiabá em Sabará (MG).....	61
Figura 11 - Atividades desenvolvidas no processo de lavra subterrânea.....	61
Figura 12 - Processo de cabeamento.....	62
Figura 13 - Equipamento "Scaler" .....	62
Figura 14 - Processo de perfuração.....	63
Figura 15 - Equipamento "Jumbo" .....	63
Figura 16 - Carregamento de explosivos .....	63
Figura 17 - Equipamento "Anfoloader" .....	63
Figura 18 - Processo de saneamento do teto .....	64
Figura 19 - Limpeza do minério .....	65
Figura 20 - Equipamento "LHD" .....	65
Figura 21 - Processo de enchimento hidráulico .....	65
Figura 22 - Processos de Amostragem e Topografia.....	66
Figura 23 - Fluxograma do sistema de ventilação da mina Cuiabá.....	69
Figura 24 - Determinação do perfil de velocidades (a) para anemômetro integrador e (b) para anemômetro não integrador (Hartman, 1991) .....	71
Figura 25 - Conjunto para determinação do índice IBUTG (NHT 01 C/E, 1985).....	72
Figura 26 – Ventsim (Underground Mine Ventilation Software) .....	79
Figura 27 – Ruas Internas da mina no software Ventsim .....	80
Figura 28 - Resultado de simulação dos níveis de pressão do ventilador principal. ....	83

# 1 INTRODUÇÃO

O conceito de saúde, segundo a definição da Organização Mundial de Saúde (OMS), é o estado de completo bem-estar físico, mental e social, e não apenas a ausência de enfermidade. As doenças ocupacionais, são aquelas decorrentes da exposição dos trabalhadores aos riscos ambientais, ergonômicos ou de acidentes. Para garantir a saúde dos trabalhadores, é necessário o conhecimento de tudo aquilo que possa afetá-lo no ambiente de trabalho. Assim, o binômio saúde e doença, geralmente associado à medicina, faz parte também do exercício profissional dos engenheiros, que devem atuar na prevenção de riscos através do reconhecimento e das medidas de controle.

Na mineração, atividade fundamental para o desenvolvimento econômico e social de muito países, os trabalhadores estão susceptíveis a ambientes hostis de trabalho. A qualidade do ar respirado e o conforto termocorporal são questões fundamentais a serem gerenciadas pelas companhias de mineração, especialmente nos processos de lavra subterrânea, onde a ventilação do ambiente depende de instalações mecânicas que devem assegurar uma quantidade mínima de ar renovável por trabalhador a fim de evitar a contração de enfermidades.

Este estudo tem como objetivo levantar as principais questões relacionadas à qualidade do ar e ao conforto térmico no interior de minas subterrâneas, a análise das normas técnicas e suas aplicações. Foi realizada também uma visita técnica à mina Cuiabá, onde foi possível obter medições de temperatura de bulbo seco, bulbo úmido, radiante média, velocidade do ar e porcentagens de metano e oxigênio em determinados locais no interior da mina, a fim de verificar o cumprimento das normas.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 SEGURANÇA DO TRABALHO**

Segurança do trabalho pode ser entendida como os conjuntos de medidas que são adotadas visando minimizar os acidentes de trabalho, doenças ocupacionais, bem como proteger a integridade e a capacidade de trabalho do trabalhador. Para ser eficaz, a segurança deve atuar sobre homens, máquinas e instalações, levando em consideração os pormenores relativos às atividades humanas.

Acidente é, por definição do dicionário eletrônico Houaiss, um acontecimento casual, fortuito, inesperado e também qualquer acontecimento, desagradável ou infeliz, que envolva dano, perda, lesão, sofrimento ou morte. Essa lesão pode ser imediata (lesão traumática) ou mediata (doença profissional). Assim, caracteriza-se a lesão quando a integridade física ou a saúde são atingidas. O acidente, entretanto, caracteriza-se pela existência do risco (CIPA).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT apresenta a seguinte definição para o acidente do trabalho: "Acidente do trabalho (ou, simplesmente, Acidente) é a ocorrência imprevista e indesejável, instantânea ou não, relacionada com o exercício do trabalho, que provoca lesão pessoal ou de que decorre risco próximo ou remoto dessa lesão" (NBR 14280/99, Cadastro de Acidentes do Trabalho - Procedimento e Classificação).

Segundo a Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA), o movimento para a criação de um esquema de segurança no trabalho começou, efetivamente, no final do século passado nos Estados Unidos e culminou em 1913, com a criação do "National Safety Council", entidade privada que liderou os estudos e divulgação do assunto.

O gerenciamento dos riscos associados ao trabalho é fundamental para a prevenção de acidentes. Isso requer pesquisas, métodos e técnicas específicas, monitoramento e controle. O

melhoramento durável da segurança depende da capacidade da empresa para elaborar e aplicar uma política de segurança, conseqüentemente, a qualidade da informação de que ela passa a dispor, constitui uma condição prévia à elaboração de estratégias adaptadas. As empresas necessitam de um instrumento de gestão da segurança constituído por uma bateria de indicadores e destinado ao enquadramento, no sentido lato. Indicador de segurança é toda a informação, se possível quantificada, que contribui para objetivar o nível de segurança de uma unidade de produção. Já nível de segurança, é um sistema no qual todos os acontecimentos indesejáveis estariam recenseados e avaliadas as suas possibilidades de ocorrência, ponderadas pela gravidade das suas conseqüências (MONTEAU, 1986).

Os conceitos básicos de segurança e saúde devem estar incorporados em todas as etapas do processo produtivo, do projeto à operação. Essa concepção irá garantir inclusive a continuidade e segurança dos processos, uma vez que os acidentes geram horas e dias perdidos.

O Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) diz que as normas regulamentadoras (NR), relativas à segurança e medicina do trabalho, são de observância obrigatória pelas empresas privadas e públicas e pelos órgãos públicos da administração direta e indireta, bem como pelos órgãos dos Poderes Legislativo e Judiciário, que possuam empregados regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho - CLT (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 1978).

No caso da mineração, a norma utilizada é a NR 22 (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 1999), que tem por objetivo disciplinar os preceitos a serem observados na organização e no ambiente de trabalho, de forma a tornar compatível o planejamento e o desenvolvimento da atividade mineira com a busca permanente da segurança e saúde dos trabalhadores (NR 22 - Segurança e saúde ocupacional na mineração 122.000-4).

Considerando a mineração subterrânea, também é utilizada a NR 15 (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 1978), onde são consideradas as atividades ou operações insalubres (NR 15 – Atividades e operações insalubres - 115.000-6). Com relação ao conforto térmico, também a NR 17 (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 1990), que trata de ergonomia (NR 17 – Ergonomia - 117.000-7) é considerada.

A busca de condições seguras e saudáveis no ambiente de trabalho significa proteger e preservar a vida e, principalmente, é mais uma forma de se construir a qualidade de vida.

## **2.2 CARACTERÍSTICAS DA MINERAÇÃO**

O subsolo brasileiro possui importantes depósitos de minérios. Parte dessas reservas é considerada expressiva quando relacionada mundialmente. O Brasil produz cerca de 70 substâncias, sendo 21 dos grupos de minerais metálicos, 45 dos não-metálicos e quatro dos energéticos.

As jazidas de minérios com concentrações de minerais úteis economicamente são constituídas por uma rocha (minério), de onde são extraídos os minerais ou metais de valor, e outras rochas estéreis (encaixantes). O minério, por sua vez, é composto por alguns minerais que são recuperados e aproveitados economicamente (minerais de minério ou minerais úteis) e por outros sem valor comercial (minerais de ganga).

A mina é conceituada como uma jazida em lavra, que é o conjunto de operações necessárias à extração industrial de substâncias minerais. A lavra pode ser realizada de três modos:

- Céu aberto: quando as operações são realizadas na superfície.
- Subterrânea: quando a lavra é realizada abaixo da superfície.
- Submersa: quando a lavra ocorre no fundo de um lago ou curso d'água ou no mar.

Devido à predominância da ganga na maioria das jazidas, são utilizados métodos físicos e/ou químicos para separar os minerais valiosos dos minerais sem interesse econômico. O processo de concentração é denominado de beneficiamento. O material recuperado é o concentrado e o restante é o rejeito.

### **2.3 LAVRA SUBTERRÂNEA**

Lavra subterrânea é o conjunto de operações necessárias à extração industrial de substâncias minerais que são realizadas abaixo da superfície. A vantagem deste tipo de lavra é o menor impacto ambiental na superfície. Ela é menos susceptível de provocar impacto visual, principalmente se utilizadas as cavas e galerias como alternativas para deposição do material estéril, assim como parte do rejeito proveniente do beneficiamento. Os efluentes líquidos que surgem das minas subterrâneas são pontuais; o que torna seu controle mais fácil (ESTON, 2004).

Por outro lado, a lavra subterrânea apresenta grandes dificuldades operacionais, problemas geomecânicos, maior probabilidade de ocorrerem acidentes e ainda custo de lavra mais elevado que a lavra a céu aberto. É preocupante, neste tipo de lavra, a poeira em suspensão, não apenas pelo confinamento no espaço de sua ocorrência como pelos efeitos mais comprometedores à saúde dos trabalhadores. Além desta preocupação há, também, as altas temperaturas e certas substâncias minerais como a sílica e o amianto que podem originar doenças crônicas. A subsidência é, também, um problema potencial e se não controlada pode levar a um generalizado dano superficial, principalmente, quando do seu abandono.

Com relação às altas temperaturas, é necessária uma boa ventilação na mina subterrânea para garantir o conforto térmico dos trabalhadores. A ventilação consiste na circulação de ar de forma natural ou por meios mecânicos para retirar do ambiente o ar contaminado ou recompor as condições físicas ambientais a níveis mais adequados ao

trabalhador. Um bom sistema de ventilação consiste em reduzir o nível de poeira, gases, melhorar a salubridade e segurança, realizar o controle de fogo e explosões e da temperatura. Pela norma NR 22, a ventilação tem que adequar a temperatura ao trabalho humano (resfriamento em lugar quente e aquecimento em lugares frios).

## **2.4 CARACTERÍSTICAS DO AR NO INTERIOR DA MINA**

O ar da mina é normalmente seco, contendo 20,93% de O<sub>2</sub>, 79,04% de N<sub>2</sub> e 0,03% de CO<sub>2</sub>, em volume. O total de outros gases soma menos que 0,01% (HARTMAN, 1982). Além destes gases, a atmosfera subterrânea contém pequenas quantidades de outros gases como metano (CH<sub>4</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), hidrocarbonetos não-oxidados e parcialmente oxidados, amônia (NH<sub>3</sub>), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), mesmo sob condições normais. As características de alguns destes gases aparecem na tabela 1 abaixo (VUTUKURI; LAMA, 1986).

Tabela 1 - Características dos gases no interior de minas

Nome	Símbolo	Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	Propriedades Físicas	Efeitos Danosos	Origem	Concentração Máxima (%)	Ponto Fatal (%)
Oxigênio	O	1.1056	Inodoro, Incolor, Insípido	Não Tóxico	Ar Normal	19 (mínimo)	6,0
Nitrogênio	N	0.9673	Inodoro, Incolor, Insípido	Asfixiante	Ar Normal, Extrato	80	-
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	1.5291	Inodoro, Incolor, Sabor levemente ácido	Asfixiante	Respiração, Extrato, Explosão, Máquinas a diesel, Combustão	TLV-TWA 0,5 TLV-STEL 1,5	18,0
Metano	CH <sub>4</sub>	0.5545	Inodoro, Incolor, Insípido	Asfixiante, Explosivo	Extrato, Detonação, Máquinas a diesel, Decaimento orgânico	1,0 – 1,25	5,3-14,0 (Explosivo)
Monóxido de Carbono	CO	0.9672	Inodoro, Incolor, Insípido	Asfixiante, Explosivo	Detonação, Máquinas a diesel, Fogo, Qualquer combustão incompleta	TLV-TWA 0,005 TLV-STEL 0,04	0,03 12,5 - 74 (Explosivo)
Óxidos de Nitrogênio	NO <sub>2</sub>	1.5985	Cheiro difícil de perceber, Incolor, Relativamente insolúvel em água	Iritante	Detonação, Máquinas a diesel, combustão incompleta	TLV-C 0,005	0,005
	NO	1.0400	Cheiro distinto, Cor marrom avermelhado, Muito solúvel em água	Iritante, Venenoso		TLV-TWA 0,0025 TLV-C 0,0035	
Gás sulfídrico	H <sub>2</sub> S	1.1912	Odor de ovo estragado, Incolor, Sabor ácido	Iritante, Venenoso, Explosivo	Água de extrato, Gás de extrato, Detonação	TLV-TWA 0,001 TLV-STEL 0,0015	0,1 4-44 (Explosivo)
Dióxido de Enxofre	SO <sub>2</sub>	2.2636	Odor irritante, Incolor, Sabor ácido	Iritante, Venenoso	Máquinas a diesel, Detonação e combustão de certos minérios de sulfeto, Fogo	TLV-C 0,0005	0,1

Nota: TLV – Threshold limit values – São valores referentes à concentração de agentes tóxicos no ar e representam as condições nas quais os trabalhadores podem ser repetidamente expostos, dia após dia, sem efeitos adversos. São três as categorias de TLV's:

1) TLV-TWA – Time-weighted average: Concentração média considerando 40 horas de trabalho por semana.

- 2) TLV-STEL – Short-term exposure limit: Máxima concentração para exposição de até 15 minutos, sem efeitos adversos, considerando não mais que 4 exposições por dia, com pelo menos 60 minutos entre elas e não excedendo o TLV-TWA.
- 3) TLV-C – Ceiling: Esta é a concentração que não pode ser excedida por nenhum momento.

Os gases presentes na atmosfera da mina podem ser provenientes dos motores a combustão, das detonações, do maciço, da oxidação de madeira ou minérios sulfetados, entre outros. Estes gases podem ser divididos em: gases tóxicos e gases explosivos (VUTUKURI; LAMA, 1986).

#### **2.4.1 GASES TÓXICOS**

Gases tóxicos são aqueles que, se respirados em concentrações e tempos suficientes, podem causar danos sérios à saúde e até levar à morte, com ou sem a deficiência de oxigênio. Estes são classificados, de acordo com o modo de ação no corpo humano, em: asfixiantes, irritantes e venenosos.

Gases asfixiantes podem ser de dois tipos, simples e químico. Gases asfixiantes simples são aqueles que não têm um efeito tóxico específico, mas atuam excluindo oxigênio do pulmão. Dióxido de carbono e metano são deste tipo. O efeito cresce à medida que eles fazem decrescer a pressão parcial do oxigênio no ar. O oxigênio pode decrescer até 2/3 da concentração inicial, sem causar sintomas. Quando a concentração do gás asfixiante atinge 50%, sintomas são produzidos e quando atinge 75%, é fatal em minutos. Os sintomas são respiração rápida, falta de ar, o alerta mental diminui e a coordenação muscular piora. Depois aparece a instabilidade emocional, fadiga, náusea, vômito, prostração, perda de consciência e, finalmente, convulsão, coma profundo e morte.

Monóxido de carbono é um gás asfixiante químico. Sua afinidade com a hemoglobina é, aproximadamente, 210 vezes maior que a do oxigênio. Quando combinado com a hemoglobina, o monóxido de carbono diminui a capacidade do sangue de transporte do

oxigênio, causando asfixia. A elevação dos índices de CO pode resultar em altos níveis de carboxihemoglobina no sangue, afetando a capacidade de trabalho e de exercício físico em pessoas saudáveis. Resultam também em efeitos cardiovasculares, agravando seriamente o quadro de portadores de doenças cardíacas. Os sintomas de intoxicação são: desconforto físico, náuseas, dor de cabeça, tontura, perda de concentração, dependendo da intensidade da exposição pode levar à morte em poucas horas ou minutos.

Gases irritantes são aqueles que induzem inflamação na pele, na membrana dos olhos e nos tratores respiratórios. Causam lesão na mucosa através de reações de desnaturação ou oxidação. Podem causar broncoespasmo, traqueobronquite química e até mesmo edema pulmonar. O local de ação dos gases irritantes depende em grande parte de sua solubilidade em água. Os gases mais solúveis como a amônia e o dióxido de enxofre geralmente provocam reações nas vias aéreas superiores, provocando sensação dolorosa na boca, nariz, faringe ou mesmo nos olhos. Óxidos de nitrogênio, gás sulfídrico, aldeídos (hidrocarboneto parcialmente oxidado) e dióxido de enxofre são os gases irritantes mais comuns.

Gases venenosos são os que destroem os tecidos com os quais entram em contato. São eles: monóxido de nitrogênio, gás sulfídrico e dióxido de enxofre, que além de irritantes, são venenosos.

#### **2.4.2 GASES EXPLOSIVOS**

Alguns gases podem explodir, desde que existentes numa dada faixa de porcentagem na atmosfera e também, desde que haja uma fonte de ignição. Por exemplo, uma mistura metano-ar gera uma atmosfera explosiva quando a concentração de metano no ar está entre 5 e 15%, sendo preocupação constante nas minas de carvão e evaporitos. Outros gases explosivos encontrados nas minas são: monóxido de carbono (com faixa explosiva entre 12,5 e 74%); gás sulfídrico (na faixa entre 4 e 44%).

## 2.5 MONITORAMENTO E CONTROLE DE GASES

Equipamentos para monitoramento de gases tóxicos podem utilizar diferentes princípios de funcionamento. A escolha do método de detecção deve ser feita em função das características de cada processo e das condições específicas da aplicação. Os dados obtidos pelos instrumentos de detecção indicarão a liberação de uma área para um trabalho seguro, ou mesmo a interdição e evacuação imediata do local.

Os métodos mais utilizados incluem o PID (Photo Ionization Detector, Detector por Foto Ionização), FID (Flame Ionization Detector, Detector por Ionização de Chama), ou ainda os Sensores Catalíticos de Compensação ou Sensores Eletroquímicos.

### 2.5.1 DETECTORES DE GASES

Segundo GHINI (2002) os monitores de gases portáteis PID (Photo Ionization Detector) utilizam luz ultravioleta para ionizar as moléculas de gás, como mostra a figura 1. Os PID são geralmente utilizados para a detecção de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC's) em baixas concentrações. Para compostos aromáticos, as leituras podem chegar a escalas de partes por bilhão (ppb). As moléculas de gases passam pela câmara de fluxo do detector, onde são bombardeadas por raios de luzes ultravioleta. Quando atingidas pelos raios, as moléculas liberam íons, os quais são atraídos por eletrodos que amplificam a carga iônica, gerando uma corrente elétrica. Através da medição da corrente produzida, determina-se o tipo de gás e sua concentração.

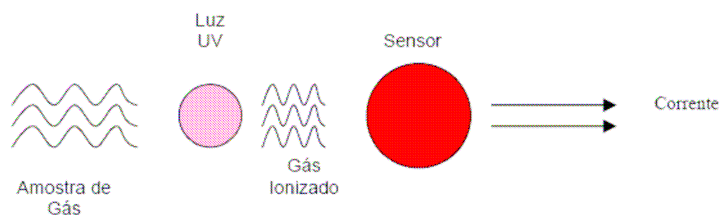


Figura 1 - Esquema de funcionamento dos medidores PID (Clean News, 2002)

Os Flame Ionization Detectors ou FID empregam uma chama de hidrogênio para ionizar as moléculas de gás, figura 2. Os FID são utilizados para a leitura total de hidrocarbonetos. Conforme os vapores de hidrocarboneto passam pela chama, as moléculas dos gases são quebradas, produzindo íons com cargas positivas e negativas. Os íons são então coletados por um par de eletrodos polarizados, gerando uma corrente elétrica. A intensidade da corrente é diretamente proporcional à quantidade de átomos de carbono presentes na amostra de gás.

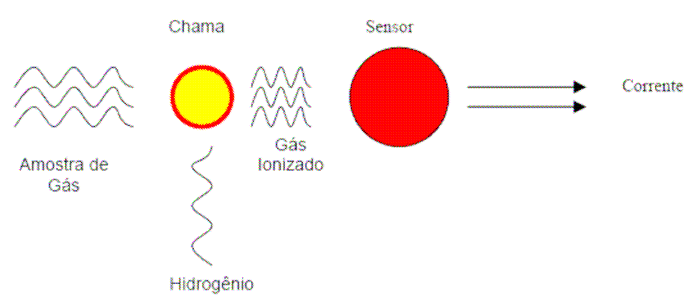


Figura 2 - Esquema de funcionamento dos medidores FID (Clean News, 2002)

Os detectores de Sensores Catalíticos operam através da oxidação dos gases presentes no ambiente, monitorando a energia liberada no processo. Este processo é simples e preciso, e aplica-se para o monitoramento de gases e vapores de combustíveis em geral. Sua operação é extremamente mais simples que a operação de um FID ou um PID.

Os sensores catalíticos, figura 3, são compostos por dois filamentos de platina: um filamento ativo e o de referência. O filamento ativo é responsável pela oxidação das moléculas de carbono presentes nos gases. Com a oxidação, a temperatura do Filamento Ativo aumenta. Esta temperatura é então comparada com o Filamento de Referência. O diferencial de temperatura produz a leitura da concentração dos gases presentes.

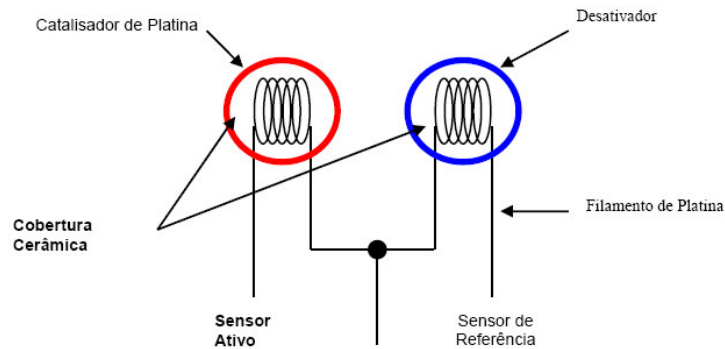


Figura 3 - Esquema de funcionamento de um sensor catalítico (Clean News, 2002)

Existem monitores capazes de eliminar o metano da leitura total dos gases. Esta é uma função extremamente importante para evitar a interferência do gás metano nas leituras de campo, devido à influência dos gases de esgoto. Para eliminar a sensibilidade do sensor ao gás metano, a temperatura do filamento é reduzida a um nível em que o metano não é detectado. No entanto, esta redução de temperatura não interfere na capacidade do monitor de detectar gases de hidrocarbonetos.

### 2.5.2 CONTROLE DE GASES

Os gases prejudiciais das minas, geralmente, são originados pelas seguintes situações:

- Detonação de explosivos;
- Utilização de máquinas a diesel;
- Mineração de carvão;
- Explosões subterrâneas e fogo;
- Oxidação de madeira, carvão, pirita, etc.;
- Perfuração em água parada.

As técnicas utilizadas para manter os gases em níveis aceitáveis dependem do tipo de gás e da natureza de sua ocorrência. As mais utilizadas para prevenir a exposição de pessoas aos gases de minas são:

- Prevenção da formação de gases;
- Prevenção da exposição de pessoas;
- Diluição dos gases;
- Remoção dos gases.

A quantidade de ar fresco necessário para se diluir um gás contaminante ao seu limite de tolerância legal, pode ser determinada pela seguinte expressão (ESTON, 2004):

$$Q_{(ar)} = q_{(gás)} \cdot \left[ \frac{(C_{gi} - C_{LT})}{(C_{LT} - C_{Qar})} \right]$$

Onde:

$Q_{(ar)}$  = vazão necessária de ar fresco em  $m^3/s$ ;

$q_{(gás)}$  = vazão do fluido poluente em  $m^3/s$ ;

$C_{gi}$  = concentração de gás puro no volume de fluido sendo colocado na atmosfera da mina, em fração (entre 0 e 1 ou  $C_{gi} \times 100 = \%$ );

$CLT$  = concentração limite de tolerância legal, em fração ou  $CLT \times 100 = \%$ ;

$C_{Qar}$  = concentração do poluente no ar fresco diluidor, em fração ou  $C_{Qar} \times 100 = \%$ .

Algumas minas possuem detectores de gases tóxicos (e explosivos) espalhados em determinados pontos no subsolo. Estes detectores estão conectados a um computador central, que também controla as vazões do sistema de ventilação no interior da mina. Quando uma determinada área alcança níveis de concentrações de gases tóxicos elevados, o sistema automaticamente detecta a ocorrência e direciona para aquela área uma porcentagem maior do

ar insuflado no interior da mina, alterando a abertura e o fechamento de dumpers de distribuição do ar.

## 2.6 MATERIAL PARTICULADO (POEIRA)

O material particulado de interesse na lavra em subsolo está na faixa granulométrica de até cerca de 100  $\mu\text{m}$ . Para a poeira gerada e emitida na atmosfera, a distância de transporte (Dt) é função da velocidade do ar e da taxa de deposição (TD). A taxa de deposição, por sua vez, é função do tamanho das partículas, da sua forma, da massa específica, das condições psicrométricas do ar, entre outros fatores.

As poeiras da fração inalável (menor que 10  $\mu\text{m}$ ) podem ser tratadas como um gás e uma expressão similar à dos gases pode ser utilizada para calcular a vazão de ar fresco (ESTON, 2004):

$$Q_{(ar)} = E_p \cdot \left[ \frac{P_{ROM}}{(C_{LT} - C_{ar})} \right]$$

Onde:

$Q_{(ar)}$  = vazão necessária de ar fresco em  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

$E_p$  = emissão de poeira na atmosfera em  $\text{m}^3/\text{h}$ ;

PROM = produção R.O.M. (Run Of Mine) em  $\text{t}/\text{h}$ ;

CLT = concentração limite de tolerância legal em  $\text{g}/\text{m}^3$ ;

$C_{ar}$  = concentração do poluente no ar em  $\text{g}/\text{m}^3$ .

A concentração de poeira no ar ( $C_{ar}$ ) diminui com o aumento da vazão ( $Q_{(ar)}$ ).

Para a fração maior que 10  $\mu\text{m}$ , com o aumento da velocidade do ar, os seguintes processos ocorrerão:

- Novas partículas serão colocadas em suspensão;
- As partículas em suspensão serão transportadas mais longe;
- As partículas depositadas serão novamente suspensas pela turbulência e colocadas na atmosfera.

Por causa disto, o aumento da vazão (ou velocidade do ar) implicará em um aumento da concentração de particulado desta granulometria.

A combinação destes fatores define a faixa mais adequada de velocidade do ar em subsolo para a diluição e remoção de poeira (inalável e não-inalável de até 100  $\mu\text{m}$ ), que é de 2 a 4 m/s. Acima de 4 m/s tem-se um problema de desconforto no impacto das partículas com a pele.

Algumas medidas simples para a diminuição dos problemas de poeira são:

- Infusão de água;
- Umedecimento de pisos;
- Borrifamento de água na perfuração e no minério desmontado;
- Uso de sistema de filtragem associado aos ventiladores;
- Uso de material particulado inerte no caso de poeiras explosivas.

## **2.7 ENFERMIDADES RELACIONADAS À QUALIDADE DO AR**

Segundo HARTMAN (1982), as doenças pulmonares de origem ocupacional são causadas pela inalação de partículas, névoas, vapores ou gases nocivos no ambiente de trabalho. O local exato das vias aéreas ou dos pulmões onde a substância inalada irá se depositar e o tipo de doença pulmonar que irá ocorrer dependerão do tamanho e do tipo das partículas inaladas. As partículas maiores podem ficar retidas nas narinas ou nas grandes vias aéreas, mas as menores atingem os pulmões.

As principais enfermidades relacionadas à qualidade do ar na mineração são: silicose, pulmão negro, asbestose e pneumoconiose benigna (MERCK, 2006).

### **2.7.1 SILICOSE**

A silicose ocorre em minas de chumbo, cobre, prata, ouro e em determinadas minas de carvão, onde os peneiradores trabalham imediatamente sobre os veios de carvão.

A silicose é a formação de cicatrizes permanentes nos pulmões provocada pela inalação do pó de sílica (quartzo). Uma das mais antigas doenças ocupacionais conhecida, ocorre em indivíduos que inalaram pó de sílica durante muitos anos. A sílica é o principal constituinte da areia, e, por essa razão, a exposição a essa substância é comum entre os trabalhadores de minas de metais, os cortadores de arenito e de granito, os operários de fundições e os ceramistas. Normalmente, os sintomas manifestam-se somente após vinte a trinta anos de exposição ao pó. No entanto, em ocupações que envolvem a utilização de jatos de areia, a escavação de túneis e a produção de sabões abrasivos, que produzem quantidades elevadas de pó de sílica, os sintomas podem ocorrer em menos de dez anos. Quando inalado, o pó de sílica atinge os pulmões, onde os fagócitos (p.ex., macrófagos) “engolem” as partículas. As enzimas liberadas pelos fagócitos provocam a formação de tecido cicatricial nos pulmões. Inicialmente, as áreas cicatriciais são pequenas protuberâncias arredondadas (silicose nodular simples), mas, finalmente, essas protuberâncias podem aglomerar-se, formando grandes massas (silicose conglomerada). Essas áreas cicatriciais não permitem a passagem normal de oxigênio ao sangue. Os pulmões perdem a elasticidade e a respiração exige um maior esforço.

Os indivíduos com silicose nodular simples não apresentam dificuldade para respirar, mas apresentam tosse e escarro em decorrência da irritação das grandes vias aéreas, uma condição denominada bronquite. A silicose conglomerada pode produzir tosse, produção de

escarro e dificuldade respiratória grave. No início, a dificuldade respiratória pode ocorrer somente durante a realização de exercícios, mas, no estágio final, ela ocorre mesmo durante o repouso.

A respiração pode piorar de dois a cinco anos após o indivíduo haver parado de trabalhar com a sílica. A lesão pulmonar sobrecarrega o coração e, algumas vezes, acarreta a insuficiência cardíaca, potencialmente letal. Além disso, quando os indivíduos com silicose são expostos ao agente causador da tuberculose (*Mycobacterium tuberculosis*), a probabilidade de contraírem a infecção é três vezes maior do que a dos indivíduos que não sofrem de silicose. O diagnóstico de silicose é estabelecido quando um indivíduo que trabalhou com sílica apresenta uma radiografia torácica com os padrões característicos de cicatrização e nódulos.

O controle da poeira no local de trabalho pode ajudar a evitar a silicose. Quando ela não pode ser controlada, como no caso das atividades que utilizam jatos de areia, os trabalhadores devem vestir capacetes que forneçam ar externo puro ou máscaras que filtrem completamente as partículas. Esse tipo de proteção pode não estar disponível para todos os indivíduos que trabalham na área poeirenta (p.ex., para pintores e soldadores) e, por essa razão, quando possível, deve ser utilizado um outro abrasivo que não a areia.

Os operários expostos ao pó de sílica devem realizar regularmente uma radiografia torácica – a cada seis meses para os operários que trabalham com jato de areia e a cada dois a cinco anos para os demais operários –, para que os problemas sejam detectados precocemente. Se as radiografias indicarem a presença de silicose, o médico provavelmente irá orientar o indivíduo a evitar a exposição contínua à sílica.

Apesar da silicose não ter cura, a interrupção da exposição à sílica em um estágio inicial da doença pode interromper a evolução da mesma. O indivíduo com dificuldade

respiratória pode beneficiar-se com os tratamentos utilizados para a doença pulmonar obstrutiva crônica, como a terapia medicamentosa que visa manter as vias aéreas desobstruídas e livres de secreções. Como os indivíduos com silicose apresentam um alto risco de tuberculose, elas devem submeter-se a exames de controle regulares que incluam um teste cutâneo para a tuberculose.

### **2.7.2 PULMÃO NEGRO**

O pulmão negro ocorre em minas de carvão devido à inalação do pó do carvão. O pulmão negro (pneumoconiose dos mineiros de carvão) é uma doença pulmonar causada por depósitos de pó de carvão nos pulmões. O pulmão negro é consequência da aspiração de pó de carvão durante um período prolongado. No caso de pulmão negro simples, o pó de carvão acumula-se em torno das pequenas vias aéreas (bronquíolos) dos pulmões. Apesar de ser relativamente inerte e incapaz de provocar reações exageradas, o pó de carvão dissemina-se por todo o pulmão, o que é revelado nas radiografias torácicas como pequenas manchas.

O pó de carvão não obstrui as vias aéreas. Apesar disso, anualmente, 1 a 2% dos indivíduos com pulmão negro simples evoluem para uma forma mais grave da doença, conhecida como fibrose disseminada progressiva, na qual ocorre a formação de cicatrizes em grandes áreas do pulmão (com pelo menos 1 centímetro de diâmetro). A fibrose disseminada progressiva pode piorar mesmo após o indivíduo interromper a exposição ao pó de carvão.

O tecido pulmonar e os vasos sanguíneos pulmonares podem ser destruídos pelas cicatrizes. Na síndrome de Caplan, um distúrbio raro que afeta mineiros de carvão que apresentam artrite reumatóide, ocorre a formação rápida de grandes nódulos redondos de tecido cicatricial nos pulmões. Esses nódulos podem formar-se em indivíduos que não se expuseram de modo importante à poeira de carvão, mesmo quando eles não apresentam pulmão negro.

Normalmente, o pulmão negro simples é assintomático (não produz sintomas). No entanto, muitos indivíduos com essa doença tosse e, facilmente, apresentam dificuldade respiratória, pois eles também sofrem de enfisema (decorrente do tabagismo) ou bronquite (também devida ao tabagismo ou à exposição tóxica a outros contaminantes industriais). Por outro lado, os estágios graves da fibrose disseminada progressiva produzem tosse e, freqüentemente, dificuldade respiratória incapacitante.

O médico estabelece o diagnóstico após observar as manchas características na radiografia torácica de um indivíduo que se expôs ou vem se expondo ao pó de carvão há muito tempo. Geralmente, trata-se de um indivíduo que trabalhou em minas subterrâneas durante pelo menos dez anos.

O pulmão negro pode ser evitado com a supressão adequada do pó de carvão do local de trabalho. Os mineiros de carvão devem realizar um exame radiográfico a cada quatro ou cinco anos, de modo que a doença possa ser detectada no seu estágio inicial. No caso de ela ser detectada, o trabalhador deve ser transferido para uma área onde a concentração de pó de carvão seja baixa, visando evitar o desenvolvimento da fibrose disseminada progressiva. Como o pulmão negro não tem cura, a prevenção é fundamental.

O indivíduo que apresenta dificuldade respiratória grave pode beneficiar-se dos tratamentos utilizados na doença pulmonar obstrutiva crônica, como o tratamento medicamentoso para manter as vias aéreas desobstruídas e livres de secreções.

### **2.7.3 ASBESTOSE**

A asbestose ocorre em minas de amianto devido à inalação do pó de amianto. A asbestose é a cicatrização disseminada do tecido pulmonar causada pela aspiração de pó de asbesto (amianto). O asbesto é composto por silicatos minerais fibrosos com diferentes

composições químicas. Quando inaladas, as fibras de asbesto depositam-se profundamente nos pulmões, provocando a formação de cicatrizes.

A inalação de asbesto também pode acarretar o espessamento das duas membranas que revestem os pulmões (pleura). Os indivíduos que trabalham com asbesto apresentam risco de desenvolver uma doença pulmonar. Os operários do setor de demolição, que trabalham em edifícios com isolamento que contém asbesto, também correm risco, embora menor. Quanto mais o indivíduo se expõe às fibras de asbesto, maior é o risco de ele desenvolver uma doença relacionada a esse material.

Os sintomas da asbestose aparecem gradualmente, somente após ter havido a formação de muitas cicatrizes e os pulmões terem perdido a elasticidade. Os sintomas iniciais são uma dificuldade respiratória discreta e a diminuição da capacidade de realizar exercícios. Os tabagistas inveterados que apresentam bronquite crônica concomitante com a asbestose podem apresentar tosse e sibilos.

A respiração torna-se cada vez mais difícil. Aproximadamente 15% dos indivíduos com asbestose apresentam uma dificuldade respiratória grave e insuficiência respiratória. Ocasionalmente, a inalação de fibras de asbesto pode provocar o acúmulo de líquido no espaço existente entre as duas membranas pleurais (espaço pleural).

Em casos raros, o asbesto acarreta a formação de tumores pleurais, denominados mesoteliomas pleurais, ou no peritônio (membrana que reveste o abdômen), denominados mesoteliomas peritoneais. Os mesoteliomas causados pelo asbesto são cancerosos e não têm cura. Mais comumente, os mesoteliomas desenvolvem-se após a exposição à crocidolita, um dos quatro tipos de asbesto.

A amosita, um outro tipo, também causa mesoteliomas. A crisotila provavelmente não causa mesoteliomas, mas algumas vezes ela é contaminada pela tremolita, que seguramente é causadora desses tipos de tumores. Geralmente, os mesoteliomas ocorrem trinta ou quarenta anos após a exposição.

O câncer de pulmão está relacionado em parte ao grau de exposição às fibras de asbesto. No entanto, entre os indivíduos com asbestose, o câncer de pulmão ocorre quase exclusivamente nos que também são tabagistas, sobretudo naqueles que consomem mais de um maço de cigarros por dia.

Algumas vezes, em um indivíduo com história de exposição ao asbesto, o médico diagnostica a asbestose por meio de uma radiografia torácica que revela as alterações características. Normalmente, o indivíduo também apresenta uma função pulmonar anormal e, durante a ausculta pulmonar (realizada com o auxílio de um estetoscópio), o médico pode detectar sons anormais denominados estertores crepitantes.

Para determinar se um tumor pleural é canceroso, o médico deve realizar uma biópsia (remoção de um pequeno fragmento de pleura, que é enviado para exame microscópico). O líquido em torno dos pulmões pode ser removido com o auxílio de uma agulha (procedimento denominado toracocentese) e analisado. No entanto, esse procedimento não é tão acurado quanto a biópsia.

As doenças causadas pela inalação de asbesto podem ser evitadas com a minimização da poeira e fibras de asbesto no local de trabalho. Atualmente, como as indústrias que usam asbesto melhoraram o controle da poeira, uma menor quantidade de indivíduos vem apresentando asbestose. No entanto, os mesoteliomas continuam a ocorrer em indivíduos que estiveram expostos há quarenta anos.

O asbesto presente nas construções deveria ser removido por profissionais treinados em técnicas seguras de remoção. Os tabagistas que tiveram contato com o asbesto podem diminuir o risco de câncer de pulmão abandonando o vício. A maioria dos tratamentos da asbestose alivia os sintomas. Por exemplo, a oxigenoterapia diminui a dificuldade respiratória.

A drenagem do líquido acumulado em torno dos pulmões pode facilitar a respiração. Em determinadas ocasiões, o transplante de pulmão tem sido bem sucedido no tratamento da asbestose. Os mesoteliomas são invariavelmente fatais. A quimioterapia não produz bons resultados e a remoção cirúrgica do tumor não cura o câncer.

#### **2.7.4 PNEUMOCONIOSE BENIGNA**

A pneumoconiose benigna ocorre em minas de ferro devido à inalação de suas partículas. Ocasionalmente, outras substâncias produzem alterações que são detectadas na radiografia torácica: a siderose (resultante da inalação de óxido de ferro), a baritose (da inalação do bário) e a estanose (da inalação de partículas de estanho). Embora sejam evidentes nas radiografias torácicas, essas partículas de poeira não causam reações pulmonares importantes e, por essa razão, os indivíduos expostos a essas substâncias não apresentam sintomas nem comprometimento funcional.

### **2.8 VENTILAÇÃO SUBTERRÂNEA**

A ventilação em mina subterrânea tem como principal objetivo fornecer um fluxo de ar fresco (puro), natural ou artificial, a todos os locais de trabalho em subsolo, em quantidades suficientes para manter as condições necessárias de higiene e de segurança dos trabalhadores. Uma ventilação inadequada torna as condições ambientais da mina precárias para os operários e equipamentos, representando para a empresa uma perda de produtividade. De uma maneira simplificada, podemos resumir o papel da ventilação em (VUTUKURI; LAMA, 1986):

- Permitir a manutenção de uma quantidade adequada de oxigênio aos operários,
- Suprimir os gases tóxicos oriundos do desmonte de rochas com explosivos.
- Evitar a formação de misturas explosivas gás-ar.
- Eliminar concentrações de poeiras em suspensão.
- Diluir os gases oriundos da combustão de motores.
- Atenuar a temperatura e a umidade excessiva.

Quando o ar tem um teor de gás inadequado para respiração é chamado de ar viciado e pode ser classificado como segue abaixo:

- Gás inadequado para respiração ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ )
- Gás venenoso, como  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  e hidróxidos
- Gás inflamável – hidrocarbonetos  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$

As técnicas de ventilação de mina podem ser resumidas basicamente em duas categorias: ventilação natural e ventilação mecânica. A ventilação natural é uma técnica utilizada desde os primórdios da mineração. É causada pela diferença de temperatura do ar no interior da mina em relação ao ar externo.

Com a crescente necessidade de um maior fluxo de ar no interior das minas, desenvolveram-se as técnicas de ventilação mecânica com ventiladores instalados no poço de entrada de ar (insuflação), ou na saída da ventilação (exaustão). Esse desenvolvimento ocorreu, principalmente, a partir da segunda metade do século XIX, com os ventiladores mecânicos de grandes diâmetros, exclusivamente centrífugos e de velocidades reduzidas, movidos por moinhos de vento ou roda hidráulica.

Após a primeira guerra, com o grande desenvolvimento da aerodinâmica, foram introduzidos os ventiladores axiais de grande porte, sendo esses hoje em dia os mais

empregados. De uma maneira geral, os ventiladores centrífugos são os que melhor se adaptam aos serviços da mina além de serem mais silenciosos. Entretanto os ventiladores axiais são mais baratos, compactos e flexíveis quando ao seu uso, permitindo a regulagem do ângulo de pás de seu rotor, variando os valores de vazão e pressão impostos, sendo, por esses motivos, os mais empregados como ventiladores de poço de ventilação. A análise da eficiência ou dimensionamento de um circuito de ventilação pode ser feita por técnicas diretas, usando as equações de Kirchhoff ou o algoritmo de Hardy Cross para a análise das redes de fluxo. Essas técnicas diretas de análise são extremamente trabalhosas, quando temos um circuito composto de muitas malhas (ramos), sendo empregadas apenas em partes do circuito de ventilação. Para uma análise mais detalhada ou previsão de mudanças no circuito de ventilação, empregam-se técnicas de simulação computacional. Essas técnicas de simulação se desenvolveram principalmente nos últimos anos, com avanço dos computadores pessoais e da possibilidade de se obterem estimativas sobre possíveis mudanças ou avanços no circuito de ventilação, antevendo-se resultados e economizando-se recursos (DNPM, 1986).

A boa ventilação aumenta a produtividade e diminui o número de acidentes, tendo-se menos absenteísmo e um melhor ambiente de trabalho. Ela requer a análise quanto aos parâmetros de saúde ocupacional, segurança e economia. Estas condições requerem:

- A diluição e remoção de gases, vapores e fumos;
- A diluição e remoção de material particulado;
- A diluição e remoção do calor;
- O monitoramento das condições relativas aos limites de tolerância;
- O planejamento das ações nos casos de emergência;
- O dimensionamento, a seleção e a localização de ventiladores principais e auxiliares;
- A previsão das alterações dinâmicas no sistema de ventilação, que ocorrem ao longo da vida da mina e da progressão da lavra.

O projeto de ventilação de uma mina deve considerar 3 tipos de situação (ESTON, 2004):

- 1) A ventilação geral diluidora – onde os focos são a vazão total de ar fresco necessária para a mina como um todo, os caminhos principais do ar pela mina e os ventiladores principais;
- 2) A ventilação auxiliar – onde os focos são os fluxos de ar nos realces, nas frentes de lavra, nas galerias em fundo de saco, as fontes fixas ou móveis de poluição, entre outros. São analisadas as subdivisões de fluxo nas vias secundárias, a colocação de portas e reguladores, bem como o uso de ventiladores secundários;
- 3) A ventilação local exaustora – cujo foco é a retirada localizada de poluentes, gerados por fonte fixa, com a utilização de fluxo aspirante, de coifas, de dutos, etc.

A figura 4 ilustra os focos da ventilação geral diluidora, enquanto a figura 5 ilustra os focos da ventilação auxiliar. A ventilação local exaustora é utilizada em locais fechados como laboratórios e oficinas.

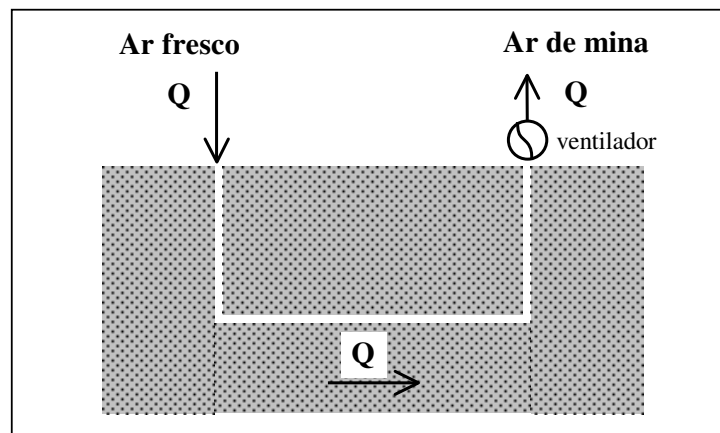


Figura 4 - Vazão total diluidora

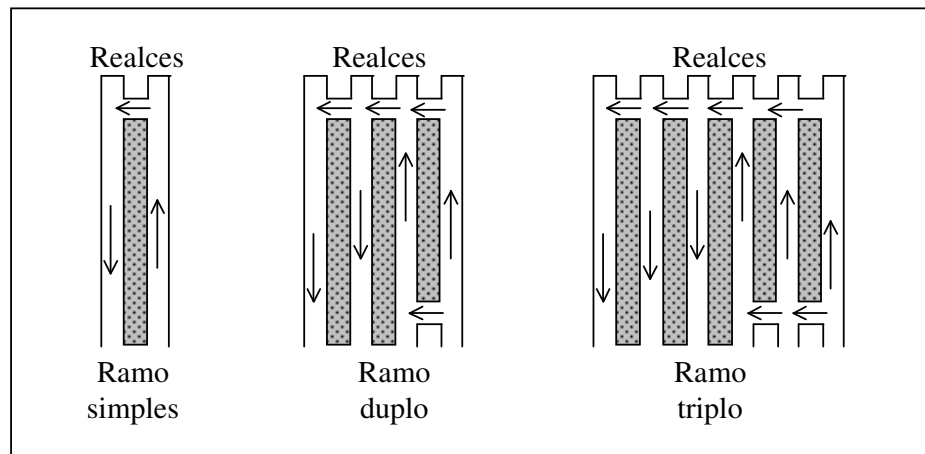


Figura 5 - Ventilação auxiliar (condução de ar fresco nas frentes de lavra)

Quando o ar é insuflado para uma mina através do ventilador principal, dizemos que a mina opera por insuflamento. Quando o ventilador principal aspira o ar da mina, dizemos que o sistema é por exaustão, como mostra a figura acima. Para uma mina de grande porte, existem muitas combinações, podendo ter sistemas mistos, com alguns ventiladores principais operando por insuflamento e outros por exaustão. Nestes casos há vários poços ou chaminés de ventilação.

### 2.8.1 A NORMA NR 22

A norma que regulamenta os critérios a serem cumpridos pelo sistema de ventilação da mina é a NR 22 (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 1999) que estabelece que o sistema de ventilação deve atender aos seguintes requisitos:

- suprimento de oxigênio; (222.573-5/ I4)
- renovação contínua do ar; (222.574-3/ I4)
- diluição eficaz de gases inflamáveis ou nocivos e de poeiras do ambiente de trabalho; (222.575-1/I4)
- temperatura e umidade adequadas ao trabalho humano e (222.576-0/ I4)
- ser mantido e operado de forma regular e contínua. (222.577-8/ I4)

Também estabelece que a mina deve elaborar e implantar um projeto de ventilação com fluxograma atualizado periodicamente, contendo, no mínimo, os seguintes dados:

- localização, vazão e pressão dos ventiladores principais; (222.579-4/ I3)
- direção e sentido do fluxo de ar e (222.255-8/ I34)
- localização e função de todas as portas, barricadas, cortinas, diques, tapumes e outros dispositivos de controle do fluxo de ventilação. (222.581-6/ I3)

Em termos de vazão de ar fresco no interior da mina a norma estabelece que dois metros cúbicos por pessoa por minuto é a vazão mínima necessária para garantir oxigênio para os trabalhadores. No caso da utilização de veículos e equipamentos a óleo diesel, a vazão de ar fresco na frente de trabalho deve ser aumentada em três e meio metros cúbicos por minuto para cada cavalovapor de potência instalada. Para o uso simultâneo de mais de um veículo ou equipamento a diesel, em frente de desenvolvimento, deverá ser adotada a seguinte fórmula para o cálculo da vazão de ar fresco na frente de trabalho:

$$QT = 3,5 ( P1 + 0,75 \times P2 + 0,5 \times Pn ) [ m^3/min ]$$

Onde:

QT = vazão total de ar fresco em metros cúbico por minuto

P1 = potência em cavalo-vapor do equipamento de maior potência em operação

P2 = potência (CV) do equipamento de segunda maior potência em operação

Pn = somatório da potência em cavalo-vapor dos demais equipamentos em operação.

## **2.8.2 DIMENSIONAMENTO DO VENTILADOR**

Para que seja possível atingir os requisitos da norma NR 22 é necessário que o sistema de ventilação seja capaz de fornecer vazões de ar preconizadas pela norma. Para tal é necessário determinar as vazões necessárias de acordo com a norma e instalar ventiladores

capazes de fornecer estas vazões, com diferencial de pressão capaz de vencer as perdas de carga no escoamento do ar pela mina.

A seleção de um ventilador é realizada utilizando-se dois parâmetros: a diferença de pressão a ser fornecida pelo ventilador e a vazão de ar a ser insuflado. A vazão de ar a ser insuflado, de acordo com a norma NR 22, depende da quantidade de pessoas e da potência instalada no interior da mina (veículos).

Outro parâmetro utilizado é a rugosidade da parede da mina, que difere de mina para mina. Este parâmetro é necessário para o cálculo da perda de carga do escoamento no interior da mina. Esta perda de carga é calculada através da seguinte equação:

$$p = fL \frac{Per}{A} \rho \frac{u^2}{2}$$

Onde:

p: perda de carga por unidade de comprimento

f: coeficiente de perda de carga

L: comprimento do escoamento

Per: perímetro da seção

A: área da seção transversal

u: velocidade do ar na seção

O dimensionamento de ventiladores para uma instalação subterrânea é feito através de softwares de simulação: o Ventsim (ventilation simulation) e o Mivena (mine ventilation analysis). No presente trabalho foi utilizado o software Ventsim e os resultados são apresentados no item 5.3.

## 2.9 CONFORTO TERMOCORPORAL

“That state of mind which expresses satisfaction with the thermal environment”

(ASHRAE, 1994)

Um dos maiores problemas de minas subterrâneas se refere ao conforto termocorporal. A literatura aponta mais de 23 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.

O problema do conforto térmico em subsolo não só envolve as fontes de calor como também deve ser analisado em termos das condições psicrométricas, ou seja, da umidade e da velocidade do ar nas galerias e realces, além da compressão adiabática nos poços de influxo de ar.

O conforto térmico nas minas está diretamente relacionado com a produtividade e ainda associado a acidentes e doenças térmicas como exaustão, síncope, câibras, sudamina e perdas de sais minerais. Com as minas cada vez mais profundas, superando 3.000m, aumenta a preocupação com os sistemas de ventilação e refrigeração.

Segundo ESTON (2005), dados da mineração corroboram dados obtidos para outras indústrias, tendo-se as menores taxas de acidentes para temperaturas inferiores a 21°C e as maiores taxas, para valores superiores a 27 °C. Entre esses valores, tem-se uma faixa onde a correlação não é bem definida.

Com relação à produtividade, dados obtidos para as minas sul-africanas de ouro, indicam uma sensível queda de produção. Sabe-se que, a partir de uma determinada faixa de

temperatura, o rendimento do trabalhador é reduzido de forma drástica, chegando a doenças ou acidentes. A tabela 2 a seguir apresenta o rendimento (R) dos trabalhadores em função da variação de temperatura (T).

Tabela 2 - Rendimento de trabalhadores em função da temperatura ambiente (ESTON, 2005)

T(°C)	R(%)
28.9	100
32.8	75
35.5	50
36.4	30
37.0	25

Queda no rendimento de trabalhos pesados de perfuração, com perfuradores experientes, aclimatados, trabalhando 3 horas consecutivas nas frentes das galerias. T é a temperatura e R, o rendimento associado. O nível de referência de 100% é tomado como 28.9 °C

O fluxo geotérmico médio mundial é cerca de  $65\text{mW/m}^2$ , e os gradientes médios em faixas não vulcânicas variam de 20 a 35 °C/km. O Brasil tem a maior parte de seu território em bacias sedimentares e crátons estáveis antigos, de modo que o gradiente médio pode ser tomado como de 25 a 30 °C/km. A tabela 3 a seguir apresenta valores de temperatura da rocha virgem para algumas profundidades.

Tabela 3 - Temperatura de rocha em função da profundidade (ESTON, 2005)

T(°C)	Z(m)
23	100
29	300
35	500
50	1000
80	2000
110	3000

No Brasil, existem muitas minas de baixa profundidade, várias de média profundidade e algumas de grande profundidade. A mina mais profunda (Mina antiga de Morro Velho) atingia mais de 2km e requeria 5 usinas de refrigeração, porque só o sistema de ventilação não era suficiente. A mina de cromo de Ipueira III na Bahia, já atingia mais de 300m de

profundidade em 2003 e o calor geotérmico começava a constituir um fator a ser considerado no planejamento da ventilação. A mina de Taquari Vassouras, de sais de potássio em Sergipe, tem cerca de 500m de profundidade e requer todo um cuidado com o sistema de ventilação e refrigeração. Esse cuidado decorre não só do calor e da umidade, mas também da necessidade de evitar a presença de água na mina.

Para minas profundas, a refrigeração é necessária e estes sistemas não são baratos, requerendo alto consumo de energia para funcionar.

Independentemente da profundidade, as minas mecanizadas utilizam máquinas que podem ser hidráulicas, elétricas ou a combustão (em geral motores a diesel). Os motores em geral são de alta potência, usados em caminhões, jipes, jumbos de perfuração, LHDs, pá-carregadores, locomotivas, correias transportadoras, mineradores contínuos, guinchos e britadores. Esses motores geram calor e gases que precisam ser removidos pelo sistema de ventilação geral diluidor.

O calor colocado na atmosfera da mina por essas máquinas pode ser estimado de várias formas, mas de modo geral se utilizam fórmulas empíricas associadas à potência do motor. Estes motores têm potências variando de uma centena de HP até várias centenas de HP e, em média, cerca de 60% da potência nominal é considerada como gerando calor na mina. Portanto, a vazão diluidora para conforto térmico considera a potência total de todos os motores em operação simultânea na mina. Valores típicos usados em minas sul-africanas estão em torno de  $60\text{m}^3/\text{s}$  por MW de potência. Valores maiores ou menores decorrem de considerações relativas a estado de manutenção dos motores, idade, se o veículo está carregado ou vazio, entre outras coisas (ESTON, 2005).

### 2.9.1 CONDIÇÕES TÉRMICAS NÃO UNIFORMES E DESCONFORTO LOCAL

Além das condições de temperatura, velocidade e umidade do ar e da temperatura radiante média do ambiente, distribuições não-uniformes de temperatura, radiação e velocidade também afetam a sensação de conforto térmico. É por este motivo que a temperatura radiante assimétrica também deve ser medida, bem como a velocidade e temperatura do ar em vários níveis. Com essas medições será possível estabelecer se há desconforto térmico local, como por exemplo:

- temperatura radiante assimétrica muito alta;
- diferença de temperatura ao longo do corpo muito grande, por exemplo, ar frio nos pés e ar quente na cabeça;
- correntes de ar que podem causar sensação de frio em algumas regiões.

A curva da figura 6 apresenta a porcentagem de pessoas insatisfeitas como função da assimetria de radiação, cada curva apresenta um tipo diferente de assimetria como teto aquecido, parede fria, parede quente ou teto frio.

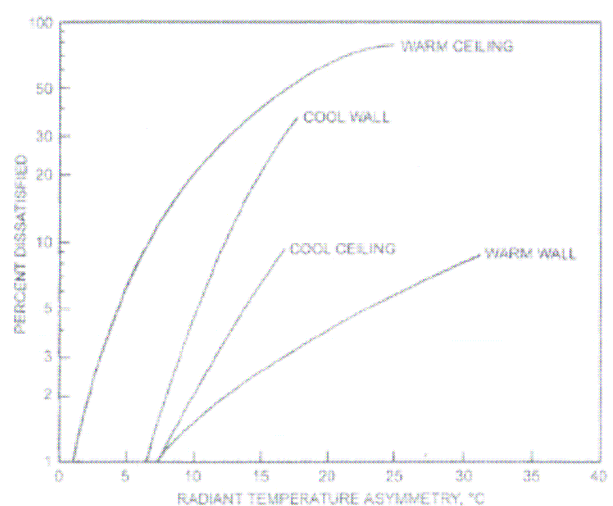


Figura 6 - PPD devido ao desconforto local (ASHRAE handbook 2001 - Fundamentals)

As curvas da figura 7 apresentam a porcentagem de pessoas insatisfeitas como função da velocidade média do ar. Cada curva expressa uma temperatura diferente do fluxo de ar.

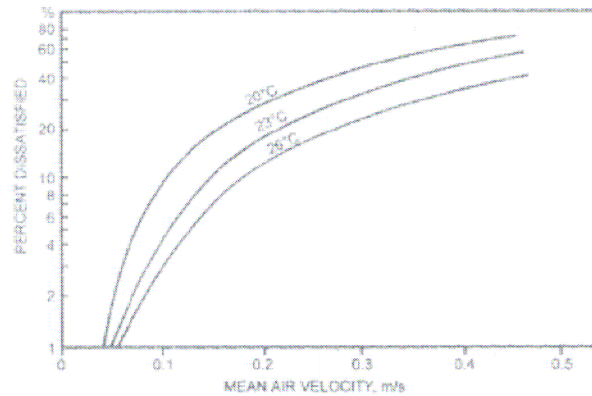


Figura 7 - PPD devido à velocidade média do ar (ASHRAE handbook 2001 - Fundamentals)

## 2.9.2 A ANÁLISE DE FANGER

O método de avaliação das condições de conforto térmico de FANGER (1970), apresenta as seis variáveis de conforto: quatro variáveis ambientais (temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), velocidade do ar  $V$ , temperatura radiante média ( $\bar{T}_r$ ) e umidade do ar ( $p_{var}$ )) e dois parâmetros pessoais (metabolismo ( $M$ ) e tipo de vestimenta ( $R_{roupa}$ )).

- QUANTIFICAÇÃO DO PARÂMETRO VESTIMENTA

A vestimenta representa uma barreira contra as trocas térmicas, é um isolante térmico pela camada de ar que mantém entre ela e a pele. A figura 8 abaixo mostra alguns tipos comuns de vestimentas e suas respectivas resistências térmicas.

$$1 \text{ CLO} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

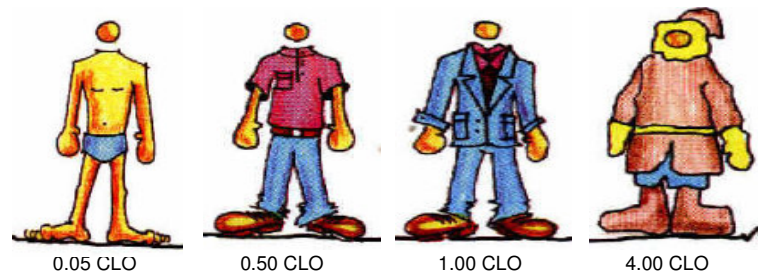


Figura 8 - Tipos de vestimentas e suas resistências térmicas

- INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DO AR

O aumento da velocidade do ar aumenta a troca de calor entre o corpo e o ar, se o ar estiver mais frio do que a superfície do corpo a sensação será de resfriamento, enquanto que, se o ar estiver mais quente do que a superfície do corpo a sensação será de aquecimento.

FANGER (1970) propôs uma equação geral de conforto para prever as sensações de conforto segundo a combinação das variáveis: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, umidade relativa, atividade física e vestimenta.

Esta estabelece três condições básicas para uma situação de conforto térmico:

- A existência de equilíbrio através da troca de calor
- A temperatura média da pele
- O calor eliminado por evaporação do suor na zona de regulação contra o calor, resultando:

$$f\left(M, R_{roupa}, V, T_{ar}, p_{var}, \bar{T}_r\right) = 0$$

A temperatura da pele e o calor eliminado por evaporação são função da variável M, que representa o metabolismo do corpo humano quando exercendo uma determinada atividade.

O PMV (voto médio estimado) consiste num valor numérico que representa as respostas subjetivas de sensação de desconforto por frio e calor, terá valor zero para situações de conforto, será negativo para situações de frio e positivo para situações de calor. A partir daí foi implementado o conceito de Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas (Predicted Percentage of Dissatisfied), o PPD ou PPI.

Uma vez que o cálculo do voto médio estimado é trabalhoso, FANGER (1970) apresenta tabelas e gráficos e a ISO 7730:1994 apresenta tabelas e uma rotina para utilização em microcomputador, que permitem determinar condições de conforto térmico para diferentes atividades, tipos de vestimenta e condições ambientais.

O autor relatou a percentagem estimada de insatisfeitos (PPD) em função do voto médio estimado (PMV).

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)}$$

A curva da figura 9 abaixo mostra como varia o percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) em função do voto médio estimado PMV.

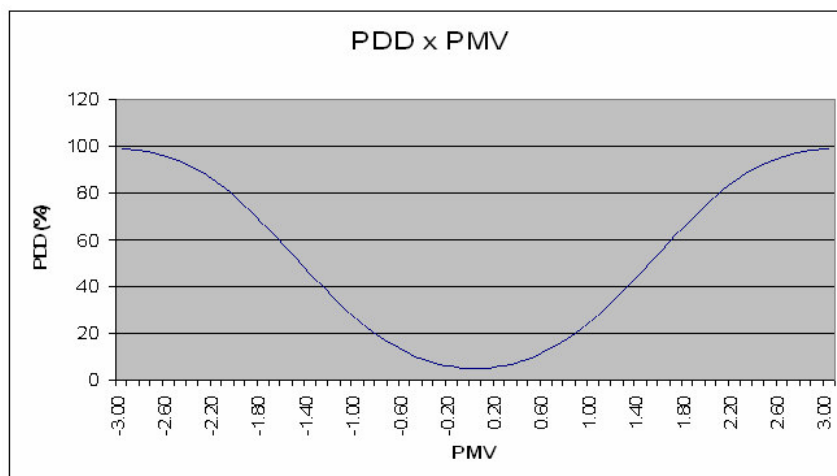


Figura 9 - Percentual de pessoas insatisfeitas em função do voto médio estimado

Note que conforme discutido acima, quando o voto médio estimado é zero, apenas 5% das pessoas apontam não estar confortável termicamente, quando o PMV é -3 temos uma situação de frio para 100% das pessoas e quando o PMV é 3 tem-se uma situação de calor para 100% das pessoas.

### 2.9.3 NORMA NR 15

Segundo a norma regulamentadora NR 15 - Atividades e operações insalubres (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 1978), a exposição ao calor deve ser avaliada através do “Índice de Bulbo Úmido Termômetro Globo” – IBUTG definido pelas equações que se seguem:

- Ambientes internos ou externos sem carga solar

$$\text{IBUTG} = 0,7 \text{ tbn} + 0,3 \text{ tg}$$

- Ambientes externos com carga solar

$$\text{IBUTG} = 0,7 \text{ tbn} + 0,1 \text{ tbs} + 0,2 \text{ tg}$$

Onde: tbn = temperatura de bulbo úmido natural

tg = temperatura de globo

tbs = temperatura de bulbo seco

Os aparelhos que devem ser usados nesta avaliação são termômetro de bulbo úmido natural, termômetro de globo e termômetro de mercúrio comum, as medições devem ser efetuadas no local onde permanece o trabalhador, à altura da região do corpo mais atingida.

Em função do índice obtido, o regime de trabalho intermitente será definido como mostra a tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Regime de trabalho em função do IBUTG (em °C) obtido (NR 15)

Regime de trabalho intermitente com descanso no próprio local de trabalho (por hora)	Tipo de Atividade		
	Leve	Moderada	Pesada
Trabalho Contínuo	até 30,0	até 26,7	até 25,0
45 minutos trabalho 15 minutos descanso	30,1 a 30,6	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos trabalho 30 minutos descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 minutos trabalho 45 minutos descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitido o trabalho sem a adoção de medidas adequadas de controle	Acima de 32,2	acima de 31,1	acima de 30,0

O tipo de atividade será definido como mostra a tabela 5 abaixo, em função do metabolismo (M).

Tabela 5 - Classificação do tipo de atividade (NR 15)

TIPO DE ATIVIDADE	M (kcal/h)
<b>SENTADO EM REPOUSO</b>	100
<b>TRABALHO LEVE</b>	
Sentado, movimentos moderados com braços e tronco (ex. Datilografia).	125
Sentado, movimentos moderados com braços e pernas (ex. Digigir)	150
De pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, principalmente com os braços.	150
<b>TRABALHO MODERADO</b>	
Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas.	180
De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com alguma movimentação	175
De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada com alguma movimentação	220
Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar.	300
<b>TRABALHO PESADO</b>	
Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos (ex. Remoção com pá)	440
Trabalho fatigante	550

A norma NR 15 estabelece que os períodos de descanso serão considerados como horas de trabalho para todos os efeitos legais. Para determinar o índice máximo IBUTG a norma estabelece o seguinte quadro (tabela 6).

Tabela 6 - Limites máximos de IBUTG em função do metabolismo

M (kcal/h)	Máximo IBUTG (°C)
175	30,5
200	30,0
250	28,5
300	27,5
350	26,5
400	26,0
450	25,5
500	25,0

Onde M é a taxa de metabolismo média ponderada para uma hora, determinada pela seguinte fórmula:

$$M = \frac{M_t \times T_t + M_d \times T_d}{60}$$

Sendo: Mt – taxa de metabolismo no local de trabalho

Tt – soma dos tempos, em minutos, em que se permanece no local de trabalho.

Md – taxa de metabolismo no local de descanso.

Td – soma dos tempos, em minutos, em que se permanece no local de descanso.

$\overline{IBUTG}$  é o valor IBUTG médio ponderado para uma hora, determinado pela seguinte fórmula:

$$\overline{IBUTG} = \frac{IBUTG_t \times T_t + IBUTG_d \times T_d}{60}$$

Sendo: IBUTG<sub>t</sub> = valor do IBUTG no local de trabalho.

IBUTG<sub>d</sub> = valor do IBUTG no local de descanso.

T<sub>t</sub> e T<sub>d</sub> = como anteriormente definidos

Os tempos Tt e Td, devem ser tomados no período mais desfavorável do ciclo de trabalho, sendo Tt + Td = 60 minutos corridos. As taxas de metabolismo Mt e Md serão obtidas consultando-se a tabela 5.

## **2.9.4 ÍNDICES DE EXPOSIÇÃO AO CALOR**

Conforme mencionado no início deste capítulo 2.9, os fatores que determinam a sobrecarga térmica são: a temperatura ambiente, a umidade relativa, o calor radiante, a velocidade do ar e o metabolismo gerado no desenvolvimento do trabalho executado. Por conseguinte, qualquer método que vise a avaliação da sobrecarga térmica deverá levar em conta os citados fatores.

Existem diversos métodos e estudos que pretendem avaliar, mediante a utilização de um índice as características do ambiente, bem como, os limites aceitáveis de exposição ao calor aos quais podem estar expostos os trabalhadores. No entanto, devido a grande quantidade de variáveis envolvidas no processo não se conseguiu ainda nenhum método que reflita de maneira fiel a avaliação da sobrecarga térmica.

Os métodos podem ser divididos em dois grupos (NETTO, 2003):

- **MÉTODOS FISIOLÓGICOS (EMPÍRICOS)**

Estes métodos estão baseados em estudos realizados com grupos de pessoas (grupos de controle). A partir da análise dos dados estatísticos obtidos, são construídos gráficos e tabelas que são utilizados como base para avaliação do problema.

- **MÉTODOS INSTRUMENTAIS**

Esses procedimentos procuram buscar um modelo físico/matemático que se assemelhe às condições a que estariam sujeitos os trabalhadores, quando expostos aos fatores do ambiente que influenciam a sobrecarga térmica. Entre os métodos fisiológicos adquire importância o Índice de Temperatura Efetiva (TE), o Índice IBUTG e o Índice de Sobrecarga Térmica (IST).

○ *ÍNDICE DE TEMPERATURA EFETIVA*

Esse índice foi inicialmente proposto (1923) pela American Society of Heating and Ventilating Engineers (ASHVE). Concebido a princípio como um critério de avaliação de conforto térmico, o método está baseado no estudo das respostas de grandes conjuntos de pessoas que trabalham em ambientes com diferentes combinações de temperatura, umidade e movimentação de ar. A idéia fundamental do método foi de reunir, em uma única designação, ou seja, em um Índice, todas as condições climáticas que produzem uma mesma ação fisiológica.

Assim, por exemplo, as condições de temperatura do ar de 20°C com umidade relativa de 100%, sem movimentação de ar ( $V = 0$  m/s) corresponderá a uma temperatura efetiva de 20°C.

Podem ser verificadas outras temperaturas que, para umidades relativas diferentes, provoquem as mesmas sensações de calor que a temperatura efetiva de 20°C. Isso ocorre para as condições do ambiente com umidade relativa do ar de 20% e temperatura de 24°C (sem movimentação de ar). Todas as respostas subjetivas podem ser plotadas em gráficos (diagramas psicrométricos) e com eles obtidos os valores do Índice de Temperatura Efetiva.

O Índice de Temperatura Efetiva leva em consideração os seguintes parâmetros:

- Temperatura do ar (bulbo seco) – (°C)
- Umidade relativa do ar – (%)
- Velocidade do ar – (m/s)

O Índice de Temperatura Efetiva perde representatividade quando aplicado em exposições ao calor em condições distintas das de conforto térmico, já que não completa nenhum fator para avaliação do metabolismo total.

Esse Índice já foi adotado no Brasil para a caracterização de condições insalubres ( $TE > 28^{\circ}\text{C}$  - Portaria 491 de 16 de setembro de 1965), tendo sido revogado quando entrou em vigor a Portaria 3.214/78 - NR 15 de 1978, que instituiu o IBUTG (ver item 2.9.3 deste trabalho) como índice de avaliação das condições de insalubridade.

Atualmente, o Índice de Temperatura Efetiva é adotado como parâmetro na determinação de conforto térmico (NR - 17 - Ergonomia, item 17.5.2 - alínea “b”). De posse desses valores, os mesmos devem ser comparados com àqueles especificados pelas Normas Técnicas como limites de tolerância para conforto térmico.

Outra restrição que se apresenta quando da aplicação desse índice é que o mesmo não leva em conta a troca de calor devida à radiação. Quando existem fontes de calor radiante no ambiente, as variáveis utilizadas não são suficientemente representativas das verdadeiras condições de exposição ao calor.

Nesse caso, usa-se o Índice de Temperatura Efetiva Corrigido, que é obtido substituindo-se nos ábacos (anexo I) a Temperatura de Bulbo Seco ( $T_{bs}$ ) pela Temperatura de Globo ( $T_g$ ) - que é representativa do calor radiante - e, com auxílio de uma carta psicrométrica, determina-se a Temperatura de Bulbo Úmido ( $T_{bu}$ ) que o ar possuiria com a mesma quantidade de vapor d'água, ou seja, com a mesma umidade absoluta se esse ar fosse aquecido para a nova temperatura.

Para o caso de aplicação das grandezas descritas com vistas ao atendimento da NR - 17 - Ergonomia (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 1990), as condições limitantes são: além da temperatura efetiva entre  $20$  e  $23^{\circ}\text{C}$ , a velocidade do ar não podendo ser superior a  $0,75$  m/s ( $1,5$  pés/s) e a umidade relativa do ar não podendo ser inferior a 40%.

- *ÍNDICE IBUTG*

O índice IBUTG, conforme mencionado no item anterior, é adotado no Brasil para a caracterização de condições insalubres. Para a avaliação deste índice, que possui efeitos legais sobre a empresa, a medição é realizada segundo a metodologia da Fundacentro - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Medicina e Segurança do Trabalho (NHT 01 C/E), estabelecida em 1985 (NETTO, 2003). Esta metodologia foi elaborada tomando-se por base a avaliação executada com o auxílio de “árvore de termômetros”. Na época da elaboração da metodologia o número de equipamentos eletrônicos para avaliação de calor ainda era muito reduzido. Atualmente com o avanço da tecnologia digital os profissionais envolvidos contam com equipamentos eletrônicos bastante precisos e repletos de recursos (armazenamento de várias medições, impressão de resultados e outros), e ainda com a vantagem de serem equipamentos portáteis bem mais fáceis de serem montados e transportados.

O procedimento para o cálculo deste índice, bem como o regime de trabalho a ser determinado em função do mesmo é descrito no capítulo 2.9.3 deste trabalho.

- *ÍNDICE DE SOBRECARGA TÉRMICA*

O Índice de Sobrecarga Térmica foi desenvolvido, na década de 50, por Belding e Hatch na Universidade de Pittsburgh e combinava os efeitos do calor radiante e de convecção com o calor gerado pelo metabolismo.

O Índice de Sobrecarga Térmica (IST) é essencialmente uma decorrência da equação de balanço térmico que inclui fatores metabólicos e ambientais. Belding e Hatch partiram do princípio fisiológico de que o máximo tolerável de exposição a calor é aquele em que o equilíbrio térmico possa ser mantido (para determinada carga de trabalho), sem que haja elevação excessiva da temperatura da pele. O valor do IST representa a relação entre a

quantidade de calor que um indivíduo, submetido a um ambiente térmico determinado, necessita evaporar através da sudorese e a quantidade de máxima de calor que pode ser eliminada naquele ambiente.

Em outras palavras o IST é quociente entre a evaporação requerida ( $E_{req}$ ) e a evaporação máxima ( $E_{máx}$ ), normalmente expressa sob a forma percentual.

$$IST = (E_{req} / E_{máx}).100$$

O IST é um dos métodos que permite uma avaliação mais correta da sobrecarga térmica, tendo em vista que contempla todos os parâmetros que influem nos ganhos e perdas de calor pelo indivíduo. Seu principal inconveniente está na complexidade dos cálculos para determinação do calor radiante e de convecção e na necessidade da exata determinação de todos os parâmetros físicos e do metabolismo total que não são facilmente medidos de uma maneira exata.

A evaporação requerida ( $E_{req}$ ) e a evaporação máxima ( $E_{máx}$ ) podem ser avaliadas por meio de equações empíricas desenvolvidas por Mc Karns e Brief mediante a utilização de um nomograma (NETTO, 2003). As equações utilizadas são as seguintes:

$$R = 17,5.(T_w - 95)$$

$$C = 0,756.V.0,6.(T_a - 95)$$

$$E_{máx} = 2,8.V.0,6.(42 - P_w)$$

Onde:

R = Calor trocado por radiação (Btu/h)

C = Calor trocado por convecção (Btu/h)

$E_{máx}$ . = Calor máximo perdido por evaporação (Btu/h)

$T_w$  = Temperatura radiante média (°F)

Ta = Temperatura ambiente (°F)

V = Velocidade do ar (ft/min)

Pw = Pressão de vapor (mm Hg)

Este índice é um indicador das condições de desconforto térmico, o IST não é aplicável em condições de excessivo calor. O IST não identifica corretamente as diferenças existentes em um ambiente quente e seco, e outro quente e úmido. Por esta razão, este índice não foi avaliado na análise de conforto térmico da referida mina subterrânea.

### **2.9.5 EFEITOS DO CALOR NO SER HUMANO**

Conforme HARTMAN (1982), o corpo humano é capaz de manter a sua temperatura dentro de uma faixa estreita, tanto em clima quente, quanto em clima frio, por: sudorese, alterações da respiração, tremores e variação do fluxo sanguíneo que chega à pele e aos órgãos internos. Porém, quando a exposição é excessiva em temperaturas elevadas, podem ocorrer distúrbios como:

- Golpe de calor (hipertermia);
- Síncope pelo calor (exaustão);
- Prostração térmica;
- Cãibras de calor;
- Alterações nas glândulas sudoríparas;
- Edema pelo calor;
- Outros efeitos.

O risco de apresentar um desses distúrbios causados pelo calor aumenta com a umidade elevada, que diminui o efeito refrescante da sudorese, e com o esforço físico prolongado, que aumenta a quantidade de calor produzido pelos músculos.

- GOLPE DE CALOR

Também chamado de hipertermia ou choque térmico, ocorre quando o sistema termorregulador é afetado pela sobrecarga térmica e a temperatura interna aumenta continuamente. Isto produz uma alteração da função cerebral, com perturbação do mecanismo de dissipação do calor, cessando a sudorese.

Como os danos às células nervosas são irreversíveis, é importante que os outros trabalhadores reconheçam imediatamente os sinais e sintomas do golpe de calor, para que o tratamento seja feito imediatamente.

Os sintomas da hipertermia são: colapsos, convulsões, delírios, alucinações e coma, sem aviso prévio, sendo parecido com convulsões epiléticas. Os sinais externos são: pele quente, seca e arroxeadada, a temperatura interna sobe a 40,5 °C ou mais, podendo atingir de 42 a 45 °C no caso de convulsões ou coma. O golpe de calor é, freqüentemente, fatal e pode deixar seqüelas devido aos danos causados ao cérebro, rins e outros órgãos.

Este efeito ocorre em tarefas físicas pesadas, em condições de calor extremo, quando não há aclimatização e quando existem certas enfermidades como o diabetes mellitus, enfermidades cardiovasculares e cutânea ou obesidade. Como primeiros socorros pode-se tomar medidas como: resfriar o corpo do trabalhador em imersão em água com gelo e massagear a pele resfriada para ativar a circulação ou enrolando-o em uma toalha molhada com água ou com álcool e com sopro forte de um ventilador, seguido de massagem da pele resfriada. A etapa de resfriamento deve ser parada quando a temperatura corpórea atingir 39 °C.

- SÍNCOPE PELO CALOR

A síncope pelo calor ou exaustão ocorre quando a vasodilatação periférica reduz o fluxo de sangue nos órgãos internos, podendo ocorrer deficiência de oxigênio, agravando particularmente o cérebro e o coração. Essa situação pode ser agravada no caso de esforço físico intenso.

Os principais sintomas são: a fadiga crescente, a fraqueza, a ansiedade e a sudorese abundante. A pessoa pode ter sensações de desmaio ao ficar em pé, pois o sangue acumula-se nos vasos sanguíneos dos membros inferiores, que se encontram dilatados pelo calor. Os batimentos cardíacos tornam-se lentos e fracos, a pele fica fria, pálida e viscosa, e a pessoa apresenta confusão mental. A perda líquida reduz o volume sanguíneo, baixa a pressão arterial e pode fazer com que a pessoa entre em colapso ou desmaie. Geralmente, a exaustão pelo calor pode ser diagnosticada baseando-se nos sintomas.

O principal tratamento consiste na reposição líquida (reidratação) e de sal. Geralmente, basta à pessoa deitar completamente ou ficar recostada com a cabeça mais baixa que o restante do corpo e consumir bebidas frias e levemente salgadas em intervalos de alguns minutos. Algumas vezes, a reposição líquida é administrada pela via intravenosa. Também ajuda o fato da pessoa passar para um ambiente fresco. Após a reidratação, a pessoa frequentemente recupera-se de forma rápida e completa. Quando a pressão arterial e a frequência de pulso permanecem baixas por mais de uma hora apesar do tratamento, deve-se suspeitar de uma outra condição.

- PROSTRAÇÃO TÉRMICA

A prostração térmica por desidratação ocorre quando a quantidade de água ingerida é insuficiente para compensar a perda pela urina, sudorese ou pelo ar exalado. Com a perda de 5

a 8% do peso corpóreo, ocorre a diminuição da eficiência do trabalho, sinais de desconforto, sede, irritabilidade e sonolência, além de pulso acelerado e temperatura elevada. Uma perda de 10% do peso corpóreo é incompatível com a atividade e com 15% pode ocorrer o choque térmico ou golpe pelo calor.

Como causa há a quantidade de sal ingerido menor que as perdas por evaporação. As pessoas mais susceptíveis são as não aclimatizadas.

Os sintomas são: fadiga, tonturas, falta de apetite, náuseas, vômitos e câibras musculares. As dores de cabeça, a constipação e a diarreia são bastante comuns, podendo ocorrer até a síncope pelo calor.

- **CÃIBRAS DE CALOR**

As câibras causadas pelo calor são espasmos musculares graves resultantes de uma sudorese intensa durante um esforço físico intenso em condições de calor extremo. As câibras são decorrentes da perda excessiva de líquidos e sais (eletrólitos), incluindo o sódio, o potássio e o magnésio, resultante da sudorese intensa, como ocorre durante um esforço extremo. São comuns entre os trabalhadores que fazem serviços manuais (por exemplo pessoal de salas de máquinas, trabalhadores de siderúrgicas e mineiros). Muitas camadas de roupas, como as usadas por alpinistas ou esquiadores, podem ocultar uma sudorese intensa.

Freqüentemente, começam subitamente nas mãos, nas panturrilhas ou nos pés. Geralmente, são dolorosas e incapacitantes. Os músculos tornam-se duros, tensos e difíceis de serem relaxados.

Como prevenção e tratamento, devem ser consumidas bebidas ou alimentos contendo sal. Raramente, a pessoa afetada tem de receber líquidos e sais por via intravenosa. Os comprimidos de sal podem ajudar a evitar as câibras causadas pelo calor, mas,

freqüentemente, causam problemas de estômago. O consumo de sal em excesso pode causar edema (retenção líquida).

- ALTERAÇÕES NAS GLÂNDULAS SUDORÍPARAS

A exposição ao calor por um período prolongado e particularmente em clima muito úmido pode produzir alterações das glândulas sudoríparas que deixam de produzir o suor. Isto agrava o sistema de trocas térmicas, podendo levar os trabalhadores à intolerância ao calor.

Esses trabalhadores deverão receber tratamento dermatológico e em alguns casos devem ser transferidos para tarefas onde não haja a necessidade de sudorese para a manutenção do equilíbrio térmico.

- EDEMA PELO CALOR

Consiste no inchaço das extremidades, em particular os pés e tornozelos. Ocorre comumente em pessoas não aclimatizadas, sendo muito importante a manutenção do equilíbrio hídrico-salino.

- OUTROS EFEITOS

O aumento da susceptibilidade a outras doenças é um outro efeito. Por exemplo, maior susceptibilidade às dermatoses e potencialização dos efeitos pela presença de outros agentes. A diminuição do rendimento pela sobrecarga do sistema cardiovascular, a redução na atividade cerebral e a redução do tempo de reação, são outros efeitos.

Catarata quando a exposição à radiação infravermelha provoca a degeneração do cristalino do olho, muito comum em pessoas idosas.

Efeitos nos órgãos solicitados pela sobrecarga térmica (sistema cardiovascular, respiratório e glândulas internas).

### **3 A EXPLORAÇÃO DO OURO NO BRASIL**

Este tópico tem como objetivo familiarizar o leitor com o ambiente no qual serão realizadas medições de temperatura. Para a realização deste trabalho foi escolhida uma mina subterrânea de exploração de ouro.

Ao longo de sua história, o Brasil tem sido um importante produtor de ouro, cabendo ressaltar que (VALE; HERRMAN, 2002).

- As primeiras informações sobre a mineração de ouro referem-se ao início do século XVI, muito embora as descobertas de maior expressão – Diamantina, Ouro Preto, São João Del Rei, por exemplo – tenham ocorrido por volta do final do século XVII;
- No século XVIII, observa-se uma queda acentuada na produção nacional por força, entre outros aspectos, da exaustão do estoque de recursos conhecidos à época e constituído fundamentalmente por depósitos aluvionares e superficiais;
- O início do século XIX registra o término do Ciclo do Ouro.

Aproximando-se a média das diversas estimativas disponíveis para a produção nacional de ouro acumulada nos séculos passados, tem-se um agregado total ao redor de 2.952 toneladas quando referido até 2000. É oportuno destacar que aproximadamente 63% do total teria sido produzido durante o século XX, sendo que, nesse período, a maior parte – 78% - estaria concentrada entre os anos de 1980 e 2000.

Segundo o DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), no Sumário Mineral (2005), grande parte das reservas globais de ouro, cerca de 40%, encontram-se na África do Sul. No Brasil, as reservas de ouro representam 1,6% do total mundial, aproximadamente, 1.430 toneladas e estão distribuídas nos estados do Pará (43,6%), Minas Gerais (37,6%), Goiás (8,1%), Bahia (4,5%), Mato Grosso (3,6%) e outros (2,6%).

A produção mundial de ouro foi 2,47 mil toneladas em 2004, registrando um decréscimo de 4,6% em relação ao ano anterior. Os principais países produtores de ouro são África do Sul (13,9%), Estados Unidos (10,0%), Austrália (9,8%), China (8,5%), Rússia (7,3%), Canadá (6,9%), Peru (6,5%), Indonésia (4,9%) e Brasil (1,9%).

Em 2004, a produção brasileira de ouro alcançou 47,6 toneladas, o que representou um aumento de 17,8% em relação ao ano anterior. A produção correspondente às minerações representou 59,9% da produção nacional (28,5 toneladas) e o restante foi produzido em garimpos (19,1 toneladas).

A empresa AngloGold Ashanti Mineração Ltda, constituída pelas empresas Mineração Morro Velho Ltda e Mineração Itajobi Ltda, foi a principal produtora de ouro em 2004, participando com 15,7% da produção brasileira. Em seguida estão as empresas Rio Paracatu Mineração S/A, do grupo Kinross Gold Corp. (12,3%), Mineração Serra Grande S/A, subsidiária das multinacionais AngloGold Ashanti e Kinross Gold Corp. (12,2%) e Sertão Mineração Ltda (5,6%).

Os principais estados que produzem ouro por lavras garimpeiras são: Pará (36,3%), Rondônia (52,1%), Mato Grosso (50,2%), Amapá (54,3%) e outros (11,4%) (DNPM; Mineral Commodity Summaries 2005 – United States Geological Survey - USGS e Gold Fields Mineral Services - GFMS).

## **4 MINA AVALIADA**

A avaliação de condições de conforto térmico e qualidade do ar foi realizada na mina Cuiabá localizada em Sabará (MG), pertencente ao grupo AngloGold Ashanti (AGA). O grupo AGA possui atualmente 22 pontos de operação em 10 países diferentes produzindo 6,05 milhões de onças por ano, aproximadamente 10% da produção mundial. As operações na América do Sul representam 23% do lucro do grupo e contam com 3.600 empregados.

Atualmente, a AngloGold Ashanti desenvolve um projeto de expansão que visa duplicar a capacidade nominal de produção da mina Cuiabá, passando das atuais 6,5 t/ano para 9,5 t/ano já em 2007.

Este projeto, orçado em US\$ 175 milhões (BRASIL MINERAL, 2006), possui intervenções em várias frentes:

- Instalação de uma usina de beneficiamento do minério na entrada da mina (no momento, o beneficiamento é feito na planta de Queiroz, distante 16 km da mina);
- Implantação de uma britagem primária na interior da mina;
- Construção de uma nova bacia de rejeitos ao lado da mina;
- Otimização do transporte de minério via teleférico, entre a mina e a planta industrial de Queiroz;
- Instalação de novos dutos para ventilação no interior da mina;
- Construção de mais uma fábrica de ácido sulfúrico na planta de Queiroz;
- Aprofundamento da mina Cuiabá até atingir o nível 21 (1.400 m de profundidade), para ter acesso ao minério rico em ouro que ali é encontrado.

A única obra concluída até o momento foi o novo sistema de ventilação para o interior da mina, que tem por objetivo levar o ar limpo nas várias frentes de lavra do minério no subsolo, incluindo o futuro nível 21.

Este sistema novo de ventilação, orçado em US\$ 6 milhões (BRASIL MINERAL, ago.2006), acrescentou dois dutos verticais ao sistema existente, elevando a oferta de ar dos atuais 400 m<sup>3</sup>/s para 720 m<sup>3</sup>/s. O sistema compõe-se de um shaft (down-cast) com 5,1 m de diâmetro e 772 m de comprimento por onde o ar entra na mina, e outro menor (up-cast) com 4,8 m de diâmetro e 774 m de comprimento, por onde o ar é forçado a sair da mina.

Na primeira etapa de implantação dos shafts foram abertos furos pilotos da superfície ao nível 11 da mina. Na segunda etapa, foi construído um acesso e aberto um salão dentro da mina, numa área exatamente abaixo da extremidade final dos dutos pilotos. Na terceira, a coroa de escavação da perfuratriz utilizada para fazer o furo piloto foi substituída por um disco de corte que retornou à superfície escavando e alargando o shaft no diâmetro final de projeto.

Finalizado o alargamento dos dutos, a entrada do shaft e os primeiros metros de parede interna do furo foram reforçados e concretados para evitar o desprendimento acidental de rochas.

Esta obra, que foi considerada a maior do gênero no Brasil, tornou-se fundamental em função do programa de expansão das atividades da mina Cuiabá. Este novo sistema de ventilação criou condições para promover a melhoria do ambiente de trabalho dentro da mina, elevando a qualidade de vida dos funcionários que trabalham em subsolo.



#### 4.2.1 CABEAMENTO

O processo de cabeamento consiste na colocação de cabos de contenção de até 25 m de comprimento que evitam a queda de blocos soltos do teto, permitindo estabilização e segurança às pessoas e equipamentos. A figura 12 mostra o esquema e a figura 13 o equipamento utilizado.

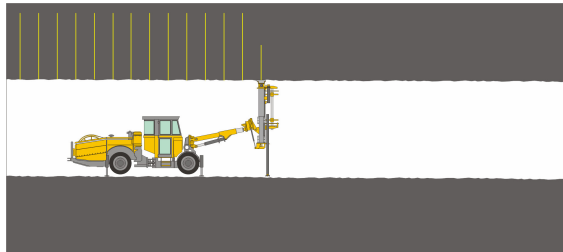


Figura 12 - Processo de cabeamento



Figura 13 - Equipamento "Scaler"

#### 4.2.2 PERFURAÇÃO

Como a lavra é feita em rocha dura, é necessário perfurar o material a ser desmontado, para então carregar os furos com explosivos. A perfuração é paralela para aumentar a eficiência do desmonte da rocha. A figura 14 mostra o esquema e a figura 15 o equipamento Jumbo, que faz a perfuração.

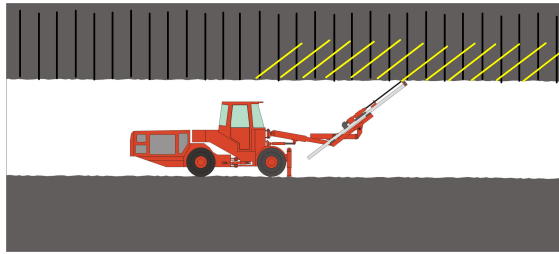


Figura 14 - Processo de perfuração



Figura 15 - Equipamento "Jumbo"

#### 4.2.3 CARREGAMENTO DE EXPLOSIVOS

Como o explosivo está na forma de emulsão, o carregamento mecanizado dos furos é feito junto à face por bombeamento, como mostra a figura 16. A figura 17 mostra o Anfoloader, equipamento que carrega os furos com explosivo.

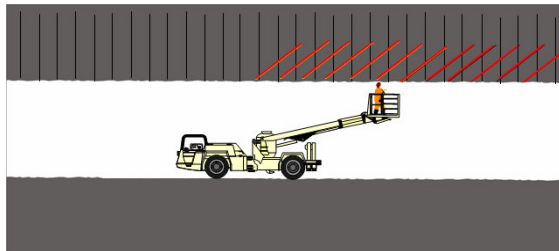


Figura 16 - Carregamento de explosivos



Figura 17 - Equipamento "Anfoloader"

#### **4.2.4 DETONAÇÃO**

A detonação dos explosivos, necessária para fragmentar a rocha e extrair o minério de ouro, é feita através de espoletas de retardo, que permitem o aumento da extensão de perfuração das galerias e da eficiência do avanço.

#### **4.2.5 VENTILAÇÃO**

Após a detonação de explosivos é preciso ventilar a frente para diluir e dissipar os gases, poeiras e calor gerados. De acordo com a norma NR 22, todas as frentes de lavra devem ser ventiladas por ar fresco proveniente da corrente principal ou secundária (NR 22 - 222.276-0/ I4).

#### **4.2.6 SANEAMENTO**

Esta etapa consiste da limpeza mecanizada da frente de lavra, figura 18.

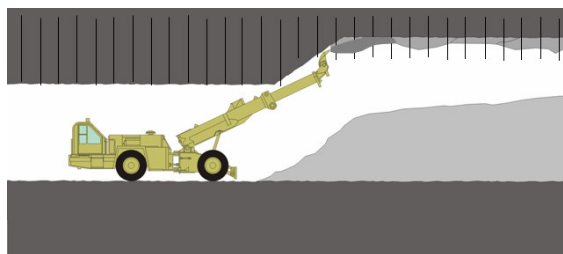


Figura 18 - Processo de saneamento do teto

#### **4.2.7 LIMPEZA DO MINÉRIO**

Carregamento do minério detonado por LHD (Load Haul Dump), que é levado aos meios que fazem o transporte para a superfície. A figura 19 mostra a LHD fazendo o carregamento e a figura 20 a LHD.

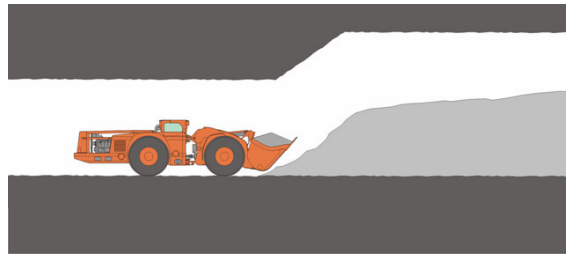


Figura 19 - Limpeza do minério



Figura 20 - Equipamento "LHD"

#### 4.2.8 ENCHIMENTO HIDRÁULICO

Como o método de lavra adotado é o Cut and Fill (Corte e Enchimento), é necessário fazer o enchimento após a limpeza do minério. O enchimento hidráulico é feito com rejeito do beneficiamento mineral, por isso, a água que transporta o rejeito deve ser drenada e bombeada de volta para a superfície. A figura 21 mostra o esquema do enchimento hidráulico.

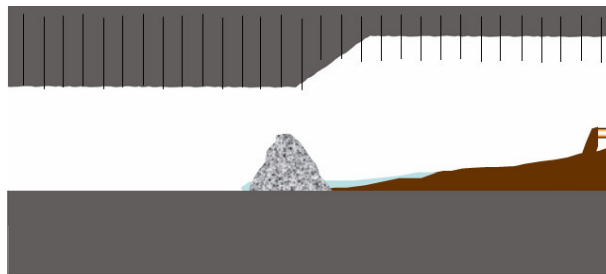


Figura 21 - Processo de enchimento hidráulico

#### 4.2.9 AMOSTRAGEM E TOPOGRAFIA

Amostras do minério da face são retiradas para serem analisadas (análise química) e determinados os teores de ouro, para o controle da qualidade. O levantamento topográfico de

escavações subterrâneas é necessário para a elaboração de mapas, plantas e desenhos, como mostra a figura 22.

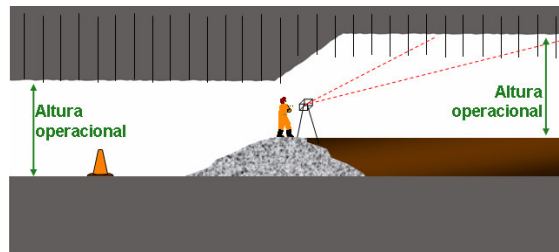


Figura 22 - Processos de Amostragem e Topografia

A mina Cuiabá produz aproximadamente 550 kg de ouro por mês (AGA), considerando uma produtividade média de 8g de ouro por tonelada de minério retirado (produtividade média global é de 3 a 4 g de ouro por tonelada de minério) conclui-se que é necessário retirar 68,750 toneladas de minério por mês. Ou aproximadamente 3,125 toneladas por dia. Cada desmorte realizado no interior da mina desloca aproximadamente 5,000 toneladas. A mina realiza, em média, um desmorte a cada dois dias.

O ciclo do processo de lavra subterrânea é composto por várias fases, cada fase deste processo tem características diferentes como quantidade de trabalhadores no local, aparelhagem utilizada, tempo de duração, quantidade de gases tóxicos emitidos, entre outras. Isso torna o ambiente de uma mina subterrânea extremamente dinâmico.

### **4.3 CRITÉRIOS ADOTADOS PELA MINA CUIABÁ PARA O SISTEMA DE VENTILAÇÃO**

Os critérios básicos de ventilação da mina Cuiabá são:

- Lavra / Desenvolvimento:  $0.08\text{m}^3/\text{s}$  por kW de potência instalada.
- Para mais de um equipamento:

$$\text{Vazão} = 0.08\text{m}^3/\text{s} \times (\text{P1}+\text{P2}*0.75+\text{Pn}*0.5)$$

- A quantidade mínima de ar de renovação: 2m<sup>3</sup>/min por pessoa.
- Velocidade mínima: 0.25m/s
- Velocidades nominais típicas:

Downcast em poços equipados / transporte: 10 a 12 m/s

Downcast em poços de ventilação não equipados: 14 m/s

Furos perfurados em raise usado para ventilação: 10 a 19 m/s

Influxo de ar em distritos (pessoal): 5 m/s

Influxo de ventilação (sem trânsito de pessoas) máximo: 10 m/s

Poços de ventilação upcast: 20 m/s

#### 4.3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS REALIZADOS NA MINA

O objetivo deste levantamento foi a coleta de dados para avaliação das condições de conforto térmico e qualidade do ar no interior da mina. Conforme mencionado no item 2.8.1, a norma exige a criação de um fluxograma do sistema de ventilação contendo os canais e a vazão insuflada. A tabela 7 mostra a distribuição dos fluxos volumétricos de ar.

Tabela 7 - Distribuição dos fluxos volumétricos de ar de alimentação da mina Cuiabá

<b>Adução</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Exaustão</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
Shaft	142	Sistema N04	120
Furo 3m Sup/N09	100	Sistema N07/Sup	230
Rampa N03	158	Fill Pass I / Viana	50

A figura 23 mostra o fluxograma do sistema de ventilação da mina Cuiabá, mostrando os níveis nos quais foram feitas as medições para avaliação das condições de conforto térmico e qualidade do ar no interior da mina. A mina de ouro estudada, conta com um técnico responsável por realizar medições de temperatura (TBS e TBU), velocidade do ar,

temperatura radiante média e porcentagens de gases, diariamente, em diversos pontos críticos ao longo de cada nível de profundidade.

As medições foram realizadas “in loco” juntamente com o técnico responsável. Os equipamentos utilizados para medição foram os seguintes:

- Anemômetro de pás digital, do fabricante “Airflow” número de série A19428, utilizado para avaliar a velocidade do ar nos pontos de medição. A calibração deste equipamento ocorreu em 03/11/2005.
- Indicador de oxigênio – Modelo “Pulsar Plus” número de série A1-18736, utilizado para avaliar a porcentagem de oxigênio no ar nos pontos de medição. Calibrado em 05/12/2005.
- Metanômetro – Marca “MSA” modelo Titan número de série 10029054, utilizado para avaliar a porcentagem de metano no ar nos pontos de medição. Calibrado em 30/05/2006.
- Termômetro – Fabricante “Quest Technologies” modelo QT36, foi utilizado para avaliar as temperaturas de bulbo seco, úmido e radiante média.

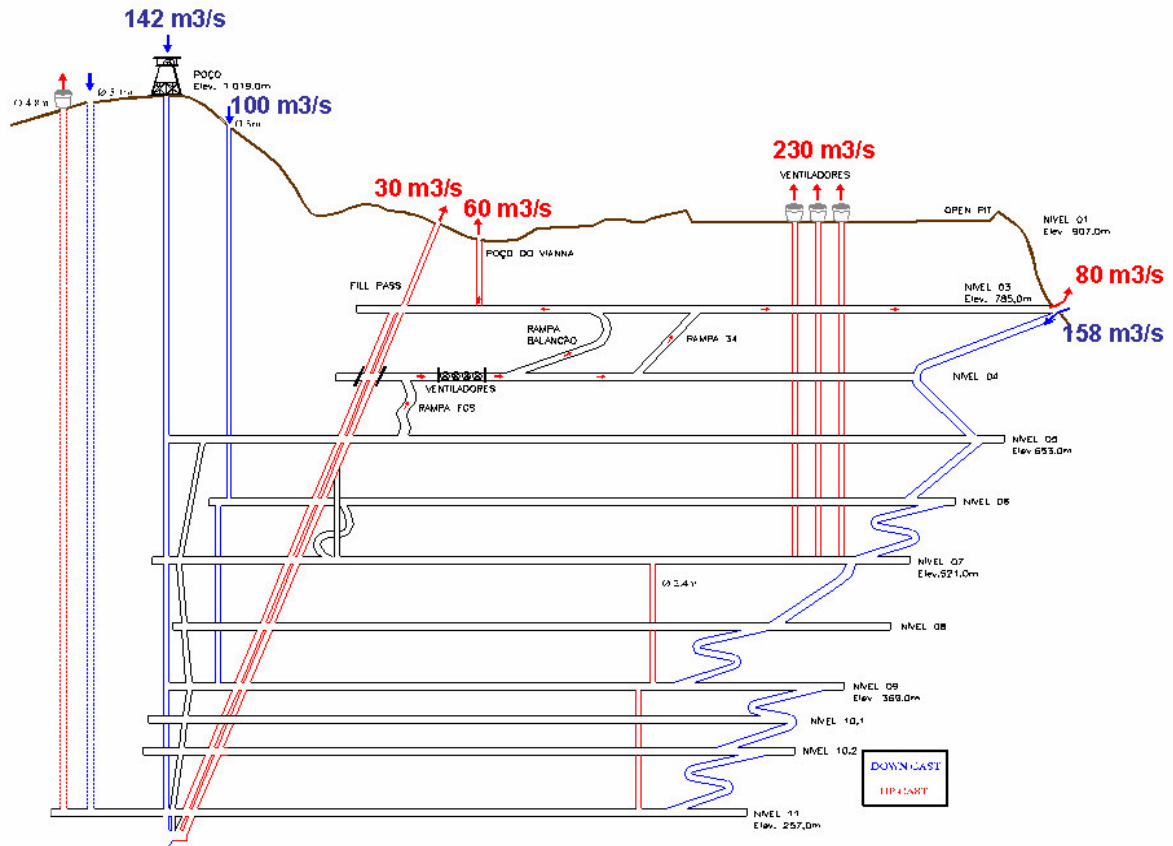


Figura 23 - Fluxograma do sistema de ventilação da mina Cuiabá

#### 4.4 O PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DO IBUTG SUGERIDO PELA FUNDACENTRO

O procedimento para medição das variáveis de conforto térmico sugerido pela fundacentro 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 25 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

fiquem dentro desse intervalo. O valor de temperatura é a média aritmética dessas últimas três leituras.

A adequação deste procedimento pode e deve ser questionada quando se trata de um ambiente dinâmico como uma mina subterrânea. Cada vez que se conclui um ciclo no processo de lavra um novo ciclo será iniciado em um local diferente do anterior, com diferentes características, comprometendo a consistência na comparação com a respectiva fase do ciclo no ciclo anterior.

A produtividade da mina está relacionada com a área transversal das ruas internas da mina, quanto menor for a área mais ruas será possível construir e um maior volume de minério poderá ser extraído. A movimentação dos veículos no interior da mina cria o chamado “efeito pistão”, como o caminhão ocupa aproximadamente toda seção transversal das ruas internas, quando este se desloca, movimenta uma massa de ar ao longo da rua, criando efeitos que comprometem as medições (especialmente TBU e velocidade do vento).

Com relação à velocidade do vento, a determinação do perfil de velocidades em um ponto é feita a partir do tipo de anemômetro disponível. Os anemômetros mais utilizados, nas medidas em subsolo, são os anemômetros de pás.

Os anemômetros podem ser de dois tipos: integrador e não integrador. Para um anemômetro integrador, percorre-se a seção da galeria conforme a figura 24. É importante que o tempo de medida não seja inferior a 2 minutos. Esse procedimento evita que o movimento do operador interfira nos valores de velocidades medidos. Se a mina dispõe de um anemômetro não integralizador, o método de medida recomendado é a divisão da seção da galeria em retângulos imaginários de mesma área. Nesse caso, a velocidade do ar na seção é a média aritmética dos valores de velocidade medidos.

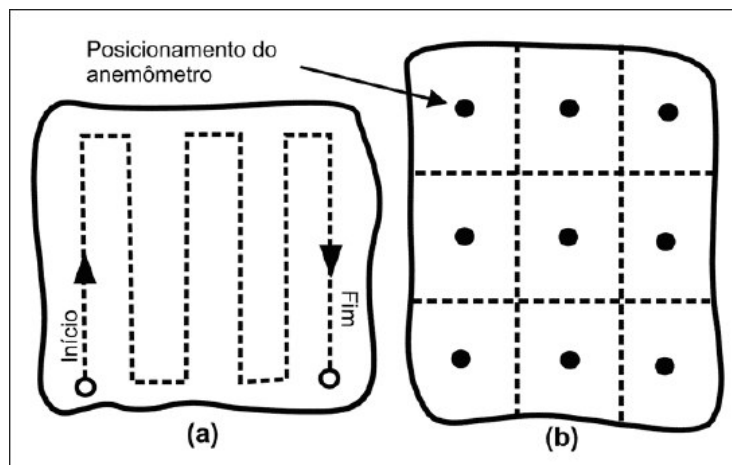


Figura 24 - Determinação do perfil de velocidades (a) para anemômetro integrador e (b) para anemômetro não integrador (Hartman, 1991)

Outro parâmetro a ser medido é o tempo de permanência do trabalhador em cada situação térmica. Esse parâmetro é obtido pela média aritmética de no mínimo três cronometragens do ciclo de trabalho. Deve-se, também, estimar o calor produzido pelo metabolismo do trabalhador ( $M$ ) para o tipo de atividade exercida em seu ciclo de trabalho. Quanto ao local de amostragem, deve-se posicionar o equipamento a altura da parte mais atingida no trabalhador nos 60 minutos mais desfavoráveis do ciclo de trabalho.

#### **4.5 A INADEQUAÇÃO DA ÁRVORE DE TERMÔMETROS EM MINAS SUBTERRÂNEAS**

Outro aspecto que deve ser considerado, é que os valores medidos não refletem a temperatura real a que os trabalhadores estão sujeitos. Isso se deve à impossibilidade de se instalar o equipamento descrito pela NR 15 nas frentes de lavra. A árvore de termômetros é muito grande e, por isso, atrapalha a movimentação dos equipamentos de carregamento dentro das ruas internas. Além desse fato, o tempo de espera de 25 minutos, para a estabilização dos termômetros, por muitas vezes, acarreta a perda do acompanhamento de boa parte do ciclo de carregamento.

O equipamento sugerido pela NR-15, em conjunto com a Fundacentro (figura 25), é inadequado para medidas nas frentes de lavra. Os conjuntos de termômetros digitais para a obtenção o índice IBUTG, também, são desaconselhados, pois sofrem grande influência das condições do ambiente de mina (umidade, principalmente).

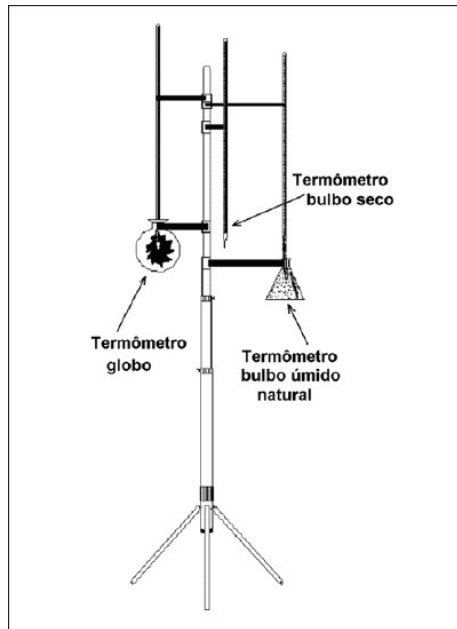


Figura 25 - Conjunto para determinação do índice IBUTG (NHT 01 C/E, 1985)

A árvore de termômetros é indicada para medidas onde o posicionamento do equipamento não interfira no ciclo de trabalho. Para medidas nas frentes de serviço, aconselha-se o uso de um psicrômetro, que é um equipamento constituído de um termômetro de bulbo seco e outro de bulbo úmido. Esse conjunto de termômetros fornece o índice de Temperatura Efetiva nas frentes de lavra, onde, com ábacos, correlacionam-se as medidas de temperatura de bulbo seco e úmido para a obtenção dos valores de temperatura no local.

Outro dado que pode ser obtido a partir das medidas de bulbo seco e úmido, é a umidade nas frentes de lavra. Para isso, basta consultar uma carta psicrométrica, entrando com os valores medidos, para se obter a umidade relativa no local. O índice de Temperatura

Efetiva empregado na avaliação de ambientes quentes, antes da normatização do índice IBUTG, é o mais indicado para as medidas nas frentes de lavra. Atualmente, esse índice é utilizado pela NR-17, nas avaliações de ergonomia.

## **5 RESULTADOS**

### **5.1 MEDIÇÕES E AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA EQUIVALENTE E DO ÍNDICE IBUTG**

Conforme mencionado no item 4.3.1 deste trabalho, foram feitas medições de temperatura de bulbo seco, bulbo úmido, radiante média, velocidade do ar e porcentagens de metano e oxigênio em determinados locais no interior da mina, a fim de verificar o cumprimento das normas. A tabela 8 mostra os dados coletados e os valores do índice TE calculados em diferentes pontos.

A velocidade do ar foi medida com o anemômetro e a vazão foi determinada a partir da velocidade e da área da seção transversal.

Para a avaliação do índice IBUTG, que possui efeitos legais sobre a empresa, a medição é realizada segundo a metodologia da Fundacentro (NHT 01 C/E) estabelecida em 1985 (NETTO, 2003). Esta metodologia foi elaborada tomando-se por base a avaliação executada com o auxílio de “árvore de termômetros”. Na época da elaboração da metodologia o número de equipamentos eletrônicos era muito reduzido. Atualmente, com o avanço da tecnologia digital os profissionais envolvidos contam com equipamentos eletrônicos bastante precisos e repletos de recursos (armazenamento de várias medições, impressão de resultados e outros), e ainda com a vantagem de serem equipamentos portáteis bem mais fáceis de serem montados e transportados. Resultados de medição fornecidos pela mineradora são apresentados na Tabela 9.

Tabela 8 - Temperatura efetiva para determinados pontos no interior da mina Cuiabá

Local	Velocidade do ar (m/s)	Área Transversal (m <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	CH <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	TBU (°C)	TBS (°C)	TE (°C)
AF1 – Entrada nível 3	11,6	16,73	190,6	0,0	21,2	15,00	17,00	10,00
AF2 – Alto da rampa do nível 4 para nível 5	8,2	18,22	149,4	0,0	21,0	18,00	18,50	12,00
AF3 – Alto da rampa do nível 5 para nível 6	5,2	15,55	80,7	0,0	21,1	18,00	18,50	12,00
AF4 – Fundo da rampa do nível 6 para nível 7	7,1	20,32	144,2	0,0	21,0	18,00	19,00	13,00
AF5 – Entrada do nível 7	0,3	9,33	2,8	0,0	21,3	18,00	22,50	21,00
AF6 – Entrada realce 7 Balancão	1,2	20,90	25,1	0,0	21,1	18,50	19,50	17,00
AF7 – Entrada realce 7 Galinheiro	1,0	17,80	17,8	0,0	21,2	20,00	20,50	18,00
AF8 – Início da rampa do nível 7 para nível 8	4,0	20,14	80,6	0,0	21,0	20,00	20,50	15,00
AF9 – Entrada do realce 8 Balancão	1,9	15,13	28,8	0,0	21,2	20,00	20,50	17,00
AF10 – Entrada do realce 8 Galinheiro	1,2	16,10	19,3	0,0	20,2	20,50	21,00	18,50
AF11 – Rampa nível 8 Galinheiro	0,7	17,20	12,0	0,0	21,0	23,50	24,00	22,50
AF12 – Entrada realce 8 FGS	2,4	20,13	48,3	0,0	21,3	21,00	22,00	18,00
AF13 – Entrada realce 8 Serrotinho (Desativado)	0,6	17,47	10,4	0,0	21,2	23,00	24,00	23,00
AF14 – Rampa nível 8 Serrotinho	1,0	25,00	25,0	0,0	20,5	23,50	25,50	23,00
AF15 – Entrada do nível 9	2,7	19,02	51,3	0,0	21,2	19,00	23,00	18,00
AF16 - Entrada Realce 9 Serrotinho	2,8	20,00	56,0	0,0	21,0	23,00	24,00	20,00
AF17 - Entrada Realce 9 FGS	1,5	24,00	36,0	0,0	21,0	21,00	22,00	18,50
AF18 – Cabeceira 9 Balancão	1,0	25,00	25,0	0,0	21,2	24,50	26,00	23,50
AF19- Furo 03m <sup>2</sup> da superfície nível 9 ( Ventilação )	4,5	22,00	99,0	0,0	21,1	18,00	21,50	15,00
AF20—Rampa 10.2 Serrotinho	1,0	25,00	25,0	0,0	20,2	29,00	31,00	28,50
AF21 – Cabeceira 10.2 FGS (Estéril)	1,0	25,00	25,0	0,0	21,2	25,00	27,00	24,00
AF22 –Entrada Realce 10.1 Serrotinho	2,0	18,75	37,5	0,0	21,2	22,00	24,00	20,00
AF23—Entrada Realce 10.1 FGS	2,0	17,80	35,6	0,0	21,1	23,00	24,00	20,00
AF24 – Alto da rampa do nível 10 para nível 11	1,6	21,00	33,6	0,0	21,3	25,00	27,00	24,00
AF25 – Entrada do nível 11	7,0	10,42	72,9	0,0	20,3	19,00	24,00	18,00
AF26---Nível 11 përa 1 travessa p/ Ventilação	0,5	24,00	12,0	0,0	20,1	24,50	26,50	24,50
AF27 – Rampa nível 11 p/ nível 12 Serrotinho	1,0	25,00	25,0	0,0	20,1	27,00	29,50	26,50
AF28---Rampa nível 11 p/ nível 10.2 Serrotinho	1,0	25,00	25,0	0,0	21,0	26,00	28,00	25,00
AF29– Cabeceira 12.1 FGS	1,0	25,00	25,0	0,0	20,6	26,50	28,00	25,50
AF30 – Cabeceira 12 Serrotinho	1,0	25,00	25,0	0,0	21,0	26,50	28,50	26,00
AF31 – Nível 13 travessa p/ Ventilação	-	-	-	-	-	-	-	-
AF31 – Drive 01	1,3	15,40	20,0	0,0	21,5	26,50	28,00	25,50
AF32 – Drive 02	1,2	12,57	15,0	0,0	21,3	26,00	27,50	25,00
AF33 – Estação de Carga	0,4	23,80	9,5	0,0	20,1	22,00	24,50	23,00

Tabela 9 - IBUTG médio do mês de outubro de 2006

<b>RELAÇÃO DE AVALIAÇÕES DE IBUTG DO MÊS DE OUTUBRO (Anglo Gold, 2006)</b>			
ATIVIDADE	LOCAL	IBUTG MÉDIO	IBUTG PERMISSÍVEL
Saneamento manual de teto e laterais	Rampa 10.1 Serrotinho	25,79	30,00
Operação com Jumbo na atividade de perfuração para detonação	Rampa 10.2 Serrotinho para o nível 12	25,63	30,00
Auxiliando o Scaler no Saneamento manual de teto e laterais	Rampa do nível 12 para o nível 13	26,74	30,00
Operação do Simba JE 15 na atividade de perfuração para cabeamento	Realce 8 Balancão	21,40	30,00
Marcação para perfuração para cabeamento	Rampa do nível 11 para o nível 12.	25,60	30,00
Umidificação de material	Realce 8 Fonte Grande	26,20	30,00
Operação de Jumbo na atividade de perfuração para cabeamento ( Cabletec JE 34)	Realce 9 Serrotinho	18,70	30,00
Auxiliando o Scaler no Saneamento manual de teto e laterais	Realce 10.1 Fonte Grande	22,00	30,00
Limpeza em frente de desenvolvimento	Rampa 12.1 Serrotinho	29,00	30,00
Operação com Jumbo na atividade de perfuração para detonação	Rampa 10.2 Serrotinho	25,40	30,00
Operação da Sonda LM 30	Praça da Sonda Móvil LM 30 na Rampa do 10.2 Serrotinho	25,20	30,00
Operação de normet	Realce 9 Serrotinho	25,00	30,00
Operação com Jumbo na atividade de perfuração para detonação	Rampa do 11 Serrotinho Subnível	26,00	30,00
Montagem da máquina perfuratriz Robbins ( Raise Borer)	Praça da Robbins na frente de desenvolvimento 8 Galinheiro	23,30	30,00

## 5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O procedimento para a análise dos dados obtidos nas medições visa verificar o cumprimento da norma regulamentadora vigente, a NR 15, a NR 17 e a NR 22. Lembrando que a NR 15 trata das atividades e operações insalubres e diz que a exposição ao calor deve ser avaliada através do IBUTG, que não deve passar do valor máximo admissível (que depende da atividade). A NR 17 é sobre ergonomia e avalia o conforto térmico através da temperatura efetiva, que deve estar entre 20°C e 23°C. Já a NR 22, que fala de saúde e segurança na mineração, e estipula o suprimento de oxigênio (que deve ser no mínimo 19%), a renovação contínua de ar, a diluição eficaz de gases inflamáveis ou nocivos (metano,

dióxido e monóxido de carbono) e poeiras, temperatura e umidade adequadas e um ambiente mantido e operado de forma contínua.

Observa-se a partir da tabela 8, o caráter crescente das temperaturas medidas em função da profundidade do ponto de medição, nesta mesma análise é possível observar a diminuição da velocidade do ar insuflado com a mesma variação de profundidade, caracterizando a perda de carga do escoamento. É possível concluir que os pontos críticos relativos ao conforto térmico estão localizados nos níveis mais profundos de exploração, sendo necessário mencionar que quanto maior a proximidade dos dutos de insuflamento, em um mesmo nível de profundidade, maior será a velocidade do ar naquele ponto de medição resultando em um efeito crescente da temperatura efetiva à medida que a distância entre o ponto de medição e o ponto de insuflamento aumenta.

Ainda na tabela 8, a porcentagem de metano em todos os locais foi zero e a de oxigênio não atingiu o mínimo que é 19,0% (tabela 1), portanto, a NR 22 foi cumprida quanto ao suprimento de oxigênio, renovação contínua do ar, diluição dos gases inflamáveis (metano). Os dados dos outros gases não foram disponibilizados para publicação, mas também não ultrapassaram os limites admissíveis.

A temperatura efetiva variou entre 10°C e 28,5°C, dependendo do local, ultrapassando o intervalo que a NR 17 estabelece de 20°C a 23°C.

A tabela 10 apresenta os resultados para os locais onde a temperatura efetiva esteve dentro dos limites estabelecidos pelo índice TE ( $20^{\circ}\text{C} < \text{TE} < 23^{\circ}\text{C}$ ).

A tabela 11 apresenta os resultados para os locais onde a temperatura efetiva esteve acima do limite estabelecido pelo índice TE ( $\text{TE} > 23^{\circ}\text{C}$ ).

Tabela 10 - Valores de medição no interior da mina em locais com TE dentro dos limites estabelecidos pela NR 22

Local	Velocidade do ar (m/s)	Área Transversal (m <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	CH <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	TBU (°C)	TBS (°C)	TE (°C)
AF5- Entrada do nível 7	0,3	9,33	2.8	0,0	21,3	18.00	22.5	21.00
AF11 - Rampa nível 8 Galinheiro	0,7	17,20	12	0,0	21,0	23.50	24.0	22.50
AF13 - Entrada realce 8 Serrotinho (Desativado)	0,6	17,47	10.4	0,0	21,2	23.00	24.0	23.00
AF14 - Rampa nível 8 Serrotinho	1,0	25,00	25	0,0	20,5	23.50	25.5	23.00
AF16 - Entrada Realce 9 Serrotinho	2,8	20,00	56	0,0	21,0	23.00	24.0	20.00
AF22 -Entrada Realce 10.1Serrotinho	2,0	18,75	37.5	0,0	21,2	22.00	24.0	20.00
AF23—Entrada Realce 10.1FGS	2,0	17,80	35.6	0,0	21,1	23.00	24.0	20.00
AF33 - Estação de Carga	0,4	23,80	9.5	0,0	20,1	22.00	24.5	23.00

Tabela 11 - Valores de medição no interior da mina em locais com TE acima dos limites estabelecidos pela NR 22

Local	Velocidade do ar (m/s)	Área Transversal (m <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	CH <sub>4</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	TBU (°C)	TBS (°C)	TE (°C)
AF18 - Cabeceira 9 Balancão	1,0	25,00	25	0,0	21,2	24.50	26.0	23.50
AF21 - Cabeceira 10.2 FGS (Estéril)	1,0	25,00	25	0,0	21,2	25.00	27.0	24.00
AF24 - Alto da rampa do nível 10 para nível 11	1,6	21,00	33.6	0,0	21,3	25.00	27.0	24.00
AF26---Nível 11 përa 1 travessa p/ Ventilação	0,5	24,00	12.0	0,0	20,1	24.50	26.5	24.50
AF27 - Rampa nível 11 p/ nível 12 Serrotinho	1,0	25,00	25	0,0	20,1	27.00	29.5	26.50
AF28---Rampa nível 11 p/ nível 10.2 Serrotinho	1,0	25,00	25	0,0	21,0	26.00	28.0	25.00
AF29- Cabeceira 12.1 FGS	1,0	25,00	25	0,0	20,6	26.50	28.0	25.50
AF30 - Cabeceira 12 Serrotinho	1,0	25,00	25	0,0	21,0	26.50	28.5	26.00
AF31 - Drive 01	1,3	15,40	20	0,0	21,5	26.50	28.0	25.50
AF32 - Drive 02	1,2	12,57	15	0,0	21,3	26.00	27.5	25.00

No entanto, deve ser mencionado que pontos com TE consideravelmente fora do intervalo mencionado, estão localizados nas proximidades dos pontos de insulflamento ou exaustão de ar, resultando em uma medição comprometida devido à grande vazão volumétrica que ali circula.

A tabela 9 mostra que o IBUTG médio não ultrapassou o máximo permissível nas atividades da mina subterrânea, sendo cumprida a NR 15.

### 5.3 DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES E DO DIFERENCIAL DE PRESSÃO DO VENTILADOR PRINCIPAL

Como dito anteriormente, a seleção do ventilador utiliza dois parâmetros: a diferença de pressão a ser fornecida pelo ventilador e a vazão de ar insuflado.

Para a determinação das vazões e do diferencial de pressão do ventilador principal foi utilizado o software Ventsim (Ventilation simulation), como mostra a figura 26.



Figura 26 – Ventsim (Underground Mine Ventilation Software)

Este software trabalha com uma janela gráfica onde cada rua interna da mina pode ser inserida juntamente com suas características geométricas, figura 27. As ruas internas foram simplificadas para uma seção circular, os comprimentos e as áreas das seções transversais foram fornecidos pela mina.

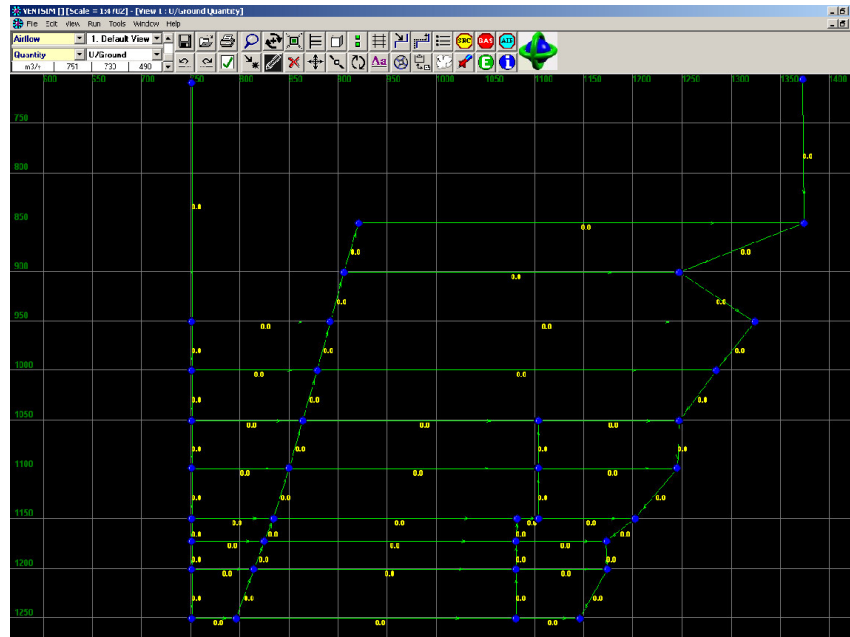


Figura 27 – Ruas Internas da mina no software Ventsim

O objetivo da simulação é obter a diferença de pressão a ser fornecida pelo ventilador para insuflar uma determinada vazão de ar. A vazão de ar a ser insuflado, de acordo com a norma NR 22, depende da quantidade de pessoas e da potência instalada no interior da mina (veículos).

Já o parâmetro de rugosidade da parede da mina, que difere de mina para mina, é necessário para o cálculo da perda de carga do escoamento no interior da mina. Um estudo realizado em trinta minas de extração de metais mostra que o coeficiente médio de perda de carga é 0.009 (PROSSER, WALLACE, 1997).

Na simulação para determinação do diferencial de pressão que o ventilador principal deverá vencer foram feitas as seguintes hipóteses:

- A seção transversal das ruas internas foi aproximada para uma seção circular onde o diâmetro foi obtido através da área fornecida para a seção.
- As ruas internas foram posicionadas, no software, no mesmo plano.

- Para o coeficiente de perda de carga (f) foi utilizado o valor de 0.009 (PROSSER, WALLACE, 1997).
- A temperatura do ar ambiente, usada para avaliar a massa específica do ar na face de sucção do ventilador foi de 21°C, que é a média anual para a cidade de belo horizonte (CLIMATEMPO).
- A simulação da variável potência instalada (veículos) foi feita com base na norma NR 22:1989 que estabelece uma quantidade mínima de ar a ser insuflado de 2m<sup>3</sup>/(min/pessoa) e de 4,8 m<sup>3</sup>/(min/kw instalado).

Com base nestas restrições foi montada a tabela 12, com as vazões de ar em m<sup>3</sup>/s em função do número de pessoas e a potência instalada no interior da mina em cv.

Tabela 12 - Vazões de ar em função do número de pessoas e potência instalada

a \ b	150	300	450	600	750	900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400	2550	2700	2850	3000
500	26	35	44	53	62	71	80	89	98	107	116	126	135	144	153	162	171	180	189	198
550	27	36	46	55	64	73	82	91	100	109	118	127	136	145	154	163	173	182	191	200
600	29	38	47	56	65	74	83	93	102	111	120	129	138	147	156	165	174	183	192	201
650	31	40	49	58	67	76	85	94	103	112	121	131	140	149	158	167	176	185	194	203
700	32	41	51	60	69	78	87	96	105	114	123	132	141	150	159	168	178	187	196	205
750	34	43	52	61	70	79	88	98	107	116	125	134	143	152	161	170	179	188	197	206
800	36	45	54	63	72	81	90	99	108	117	126	136	145	154	163	172	181	190	199	208
850	37	46	56	65	74	83	92	101	110	119	128	137	146	155	164	173	183	192	201	210
900	39	48	57	66	75	84	93	103	112	121	130	139	148	157	166	175	184	193	202	211
950	41	50	59	68	77	86	95	104	113	122	131	140	150	159	168	177	186	195	204	213
1000	42	51	61	70	79	88	97	106	115	124	133	142	151	160	169	178	188	197	206	215
1050	44	53	62	71	80	89	98	108	117	126	135	144	153	162	171	180	189	198	207	216
1100	46	55	64	73	82	91	100	109	118	127	136	145	155	164	173	182	191	200	209	218
1150	47	56	66	75	84	93	102	111	120	129	138	147	156	165	174	183	193	202	211	220
1200	49	58	67	76	85	94	103	113	122	131	140	149	158	167	176	185	194	203	212	221
1250	51	60	69	78	87	96	105	114	123	132	141	150	160	169	178	187	196	205	214	223
1300	52	61	71	80	89	98	107	116	125	134	143	152	161	170	179	188	198	207	216	225
1350	54	63	72	81	90	99	108	118	127	136	145	154	163	172	181	190	199	208	217	226
1400	56	65	74	83	92	101	110	119	128	137	146	155	165	174	183	192	201	210	219	228
1450	57	66	76	85	94	103	112	121	130	139	148	157	166	175	184	193	203	212	221	230
1500	59	68	77	86	95	104	113	123	132	141	150	159	168	177	186	195	204	213	222	231
1550	61	70	79	88	97	106	115	124	133	142	151	160	170	179	188	197	206	215	224	233
1600	62	71	80	90	99	108	117	126	135	144	153	162	171	180	189	198	208	217	226	235
1650	64	73	82	91	100	109	118	128	137	146	155	164	173	182	191	200	209	218	227	236
1700	66	75	84	93	102	111	120	129	138	147	156	165	175	184	193	202	211	220	229	238
1750	67	76	85	95	104	113	122	131	140	149	158	167	176	185	194	203	212	222	231	240
1800	69	78	87	96	105	114	123	133	142	151	160	169	178	187	196	205	214	223	232	241
1850	71	80	89	98	107	116	125	134	143	152	161	170	180	189	198	207	216	225	234	243
1900	72	81	90	100	109	118	127	136	145	154	163	172	181	190	199	208	217	227	236	245
1950	74	83	92	101	110	119	128	138	147	156	165	174	183	192	201	210	219	228	237	246

a - trabalhadores no interior da mina  
b - potência instalada (cv)

Na coluna encontra-se a quantidade de pessoas trabalhando no interior da mina e na linha superior, a potência instalada em cv. Os veículos utilizados no processo de lavra

possuem, em média, 150 cv de potência. Assim, 3000 cv representariam 20 veículos trabalhando no interior da mina.

Os valores no interior da tabela representam a vazão mínima de ar a ser insuflado, em m<sup>3</sup>/s, segundo a norma NR 22. Estes dados foram computados no software juntamente com as dimensões geométricas da mina e o coeficiente de rugosidade de suas paredes. Os valores de diferencial de pressão do ventilador principal, resultado da simulação, estão apresentados na tabela 13.

Tabela 13 - Diferencial de pressão a ser fornecido pelo ventilador principal

a \ b	150	300	450	600	750	900	1050	1200	1350	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400	2550	2700	2850	3000
500	3,466	3,891	4,251	4,569	4,854	5,114	5,355	5,579	5,790	5,989	6,178	6,357	6,530	6,695	6,853	7,006	7,154	7,297	7,436	7,571
550	3,550	3,961	4,312	4,623	4,903	5,160	5,397	5,619	5,827	6,024	6,211	6,390	6,560	6,724	6,882	7,034	7,181	7,323	7,461	7,595
600	3,631	4,029	4,372	4,676	4,952	5,205	5,439	5,658	5,864	6,059	6,245	6,422	6,591	6,754	6,910	7,061	7,207	7,349	7,486	7,619
650	3,709	4,096	4,431	4,729	5,000	5,249	5,480	5,697	5,901	6,094	6,278	6,453	6,621	6,783	6,938	7,088	7,234	7,374	7,511	7,643
700	3,785	4,160	4,488	4,781	5,047	5,292	5,521	5,735	5,937	6,128	6,310	6,485	6,651	6,812	6,966	7,115	7,260	7,400	7,535	7,667
750	3,858	4,224	4,544	4,831	5,093	5,336	5,561	5,773	5,973	6,162	6,343	6,516	6,681	6,841	6,994	7,142	7,286	7,425	7,560	7,691
800	3,930	4,285	4,599	4,881	5,139	5,378	5,601	5,810	6,008	6,196	6,375	6,547	6,711	6,869	7,022	7,169	7,312	7,450	7,584	7,715
850	3,999	4,346	4,653	4,930	5,184	5,420	5,640	5,847	6,043	6,230	6,407	6,577	6,740	6,898	7,049	7,196	7,337	7,475	7,608	7,738
900	4,066	4,405	4,706	4,978	5,229	5,462	5,679	5,884	6,078	6,263	6,439	6,608	6,770	6,926	7,076	7,222	7,363	7,500	7,632	7,762
950	4,132	4,462	4,758	5,026	5,273	5,503	5,718	5,921	6,113	6,296	6,470	6,638	6,799	6,954	7,103	7,248	7,388	7,524	7,656	7,785
1000	4,195	4,519	4,809	5,073	5,316	5,543	5,756	5,957	6,147	6,328	6,502	6,668	6,828	6,982	7,130	7,274	7,413	7,549	7,680	7,808
1050	4,258	4,574	4,859	5,119	5,359	5,583	5,794	5,992	6,181	6,361	6,533	6,698	6,856	7,009	7,157	7,300	7,439	7,573	7,704	7,831
1100	4,319	4,629	4,908	5,164	5,401	5,623	5,831	6,028	6,215	6,393	6,564	6,727	6,885	7,037	7,184	7,326	7,464	7,597	7,728	7,854
1150	4,378	4,682	4,957	5,209	5,443	5,662	5,868	6,063	6,248	6,425	6,594	6,757	6,913	7,064	7,210	7,351	7,488	7,622	7,751	7,877
1200	4,436	4,734	5,005	5,253	5,484	5,701	5,904	6,097	6,281	6,456	6,624	6,786	6,941	7,091	7,236	7,377	7,513	7,646	7,775	7,900
1250	4,494	4,786	5,052	5,297	5,525	5,739	5,941	6,132	6,314	6,488	6,654	6,815	6,969	7,118	7,262	7,402	7,538	7,670	7,798	7,923
1300	4,549	4,836	5,098	5,340	5,565	5,777	5,976	6,166	6,346	6,519	6,684	6,844	6,997	7,145	7,288	7,427	7,562	7,693	7,821	7,945
1350	4,604	4,886	5,144	5,382	5,605	5,814	6,012	6,200	6,379	6,550	6,714	6,872	7,024	7,172	7,314	7,452	7,587	7,717	7,844	7,968
1400	4,658	4,935	5,189	5,424	5,644	5,851	6,047	6,233	6,411	6,580	6,743	6,900	7,052	7,198	7,340	7,477	7,611	7,741	7,867	7,990
1450	4,711	4,983	5,234	5,466	5,683	5,888	6,082	6,266	6,442	6,611	6,773	6,929	7,079	7,225	7,365	7,502	7,635	7,764	7,890	8,012
1500	4,763	5,031	5,277	5,507	5,722	5,924	6,116	6,299	6,474	6,641	6,802	6,957	7,106	7,251	7,391	7,527	7,659	7,787	7,913	8,035
1550	4,814	5,077	5,321	5,547	5,760	5,960	6,151	6,332	6,505	6,671	6,831	6,984	7,133	7,277	7,416	7,551	7,683	7,811	7,935	8,057
1600	4,864	5,124	5,363	5,587	5,797	5,996	6,184	6,364	6,536	6,701	6,859	7,012	7,160	7,303	7,441	7,576	7,706	7,834	7,958	8,079
1650	4,913	5,169	5,406	5,627	5,835	6,031	6,218	6,396	6,567	6,730	6,888	7,040	7,186	7,328	7,466	7,600	7,730	7,857	7,980	8,101
1700	4,962	5,214	5,447	5,666	5,872	6,066	6,251	6,428	6,597	6,760	6,916	7,067	7,213	7,354	7,491	7,624	7,754	7,880	8,002	8,122
1750	5,010	5,258	5,488	5,704	5,908	6,101	6,284	6,460	6,627	6,789	6,944	7,094	7,239	7,379	7,516	7,648	7,777	7,902	8,025	8,144
1800	5,057	5,301	5,529	5,743	5,944	6,135	6,317	6,491	6,658	6,818	6,972	7,121	7,265	7,405	7,540	7,672	7,800	7,925	8,047	8,166
1850	5,103	5,344	5,569	5,781	5,980	6,169	6,350	6,522	6,687	6,846	7,000	7,148	7,291	7,430	7,565	7,696	7,823	7,948	8,069	8,187
1900	5,149	5,387	5,609	5,818	6,015	6,203	6,382	6,553	6,717	6,875	7,027	7,174	7,317	7,455	7,589	7,719	7,846	7,970	8,091	8,209
1950	5,194	5,429	5,648	5,855	6,051	6,236	6,414	6,584	6,747	6,903	7,055	7,201	7,343	7,480	7,613	7,743	7,869	7,992	8,113	8,230

a - trabalhadores no interior da mina  
b - potência instalada (cv)

Para uma melhor visualização dos resultados, foi construído o gráfico apresentado na figura 28, onde a pressão do ventilador aparece em função do número de pessoas e da potência instalada em cavalos.

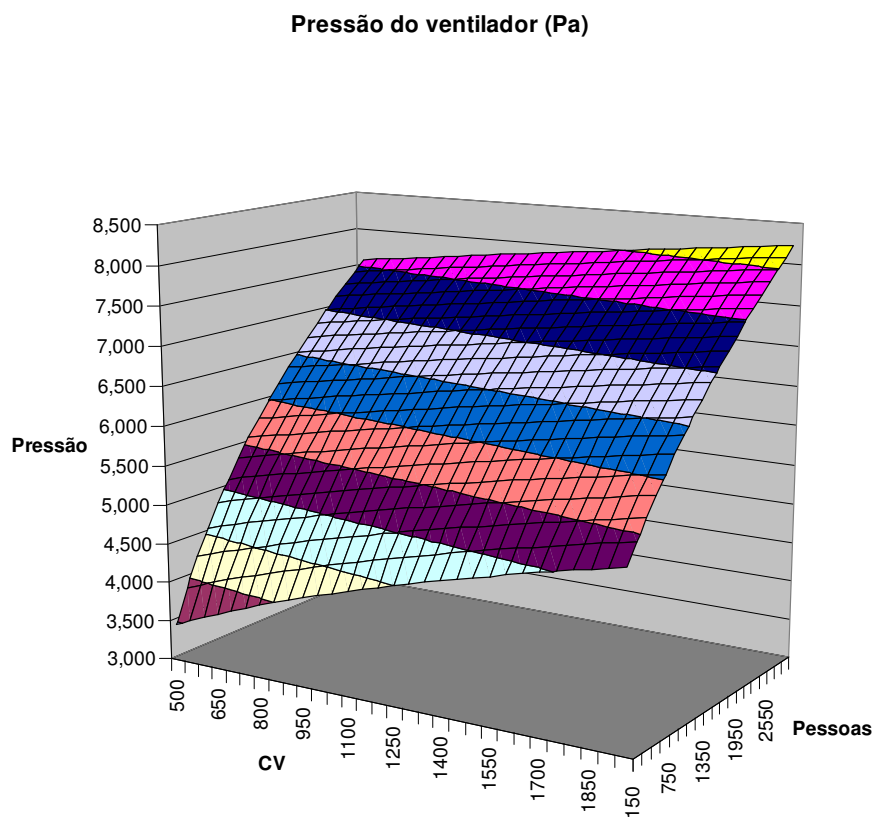


Figura 28 - Resultado de simulação dos níveis de pressão do ventilador principal.

Quanto à simulação realizada para o ventilador principal da mina, em uma atividade que demande 750 pessoas e 12 veículos (carregamento do minério após o desmonte por exemplo) a vazão necessária é de 134 m<sup>3</sup>/s (segundo a NR22) e a diferença de pressão no ventilador de 6,51 kPa. Após consultar o engenheiro responsável por este sistema na mina Cuiabá, constatou-se que as características do ventilador instalado estão aquém das necessárias, pois o ventilador foi dimensionado para garantir o fornecimento de ar para o caso mais de utilização. A mina Cuiabá opera com ventiladores ligados em paralelo que são ligados conforme a demanda de ar a ser insuflado.

## 6 CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu verificar a complexidade do monitoramento das variáveis de conforto térmico bem como da qualidade do ar em uma mina subterrânea. As condições do ar no interior da mina variam de acordo com a fase do processo de lavra. As normas NR 15 e NR 22, foram cumpridas para todos os pontos onde existiam trabalhadores exercendo atividades. A norma NR 17, no que diz respeito ao conforto térmico, foi cumprida em alguns pontos, mas como dito anteriormente, os pontos fora estão localizados próximos a pontos de insuflamento ou exaustão de ar e isto compromete a medição devido à grande vazão de ar.

Obviamente, quando o nível é fechado após uma detonação ou após a permanência de uma máquina (jumbo ou LHD), as condições do ar ficam críticas no que diz respeito à poeira em suspensão, nível de CO<sub>2</sub> e conforto térmico. Nestes momentos, não há trabalhadores no local, que é liberado após sua ventilação e normalização das condições do ar. A influência da radiação é mínima e a mina utiliza o índice de temperatura efetiva apenas como parâmetro de avaliação.

A mina Cuiabá possui um rigoroso monitoramento de gases tóxicos. A preocupação se dá principalmente com metano, dióxido de carbono e monóxido de carbono. Os níveis críticos não são atingidos devido à flexibilidade do sistema de ventilação com relação ao redirecionamento dos fluxos de ar. Para este trabalho, a empresa permitiu apenas a publicação dos dados de metano.

O resultado da simulação do sistema de ventilação possibilitou a determinação do nível de pressões em função da vazão de ar (número de pessoas e capacidade instalada relativa aos caminhões na mina) para o dimensionamento do ventilador principal, responsável por garantir condições de conforto térmico e a qualidade do ar.

O ambiente no interior da mina pode ser caracterizado pelo seu dinamismo, o fornecimento de ar deve possuir tal flexibilidade e a utilização de apenas um ventilador resultaria em uma operação fora do ponto de máximo rendimento. Para atender tal flexibilidade no fornecimento de ar, de forma mais eficiente, a mina opera com três ventiladores ligados em série que somente são acionados conforme a necessidade, possibilitando uma operação mais eficiente em termos de rendimento de uma máquina de fluxo.

Quanto às condições de conforto térmico, é necessário mencionar que a adequação do IBUTG à realidade brasileira é questionada pelos profissionais do campo de higiene ocupacional (SOBES – Sociedade Brasileira de Engenharia de Segurança), pois este índice foi elaborado para condições americanas de treinamento militar. Para que este problema seja solucionado seria preciso criar um novo índice ou adaptar o IBUTG à realidade brasileira.

Sem a realização de pesquisas específicas para as condições do trabalhador brasileiro, fica-se sujeito a copiar as experiências e parâmetros americanos e europeus. Com o agravante que, para o caso brasileiro, esses limites adotados são utilizados para a caracterização legal dos adicionais de insalubridade e com reflexos até na concessão do benefício da aposentadoria especial. É necessário, portanto, que a SSST (Secretaria de Segurança à Saúde do Trabalhador) em conjunto com sociedades técnicas e Universidades, inicie uma pesquisa ampla e profunda das verdadeiras contribuições das condições ambientais do calor para a saúde do trabalhador brasileiro.

## 7 REFERÊNCIAS

- ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers 41.6: method for measurement of moist air properties. Atlanta. 1994.
- ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers handbook: fundamentals. Vol. 1. Atlanta. 2001.
- BRASIL MINERAL (2006) *Ouro: brotando do solo de Minas Gerais*. n° 253, Agosto. São Paulo, Signus Editora Ltda. p. 30-33.
- DNPM (1986) *Ventilação em minas subterrâneas*. Departamento Nacional da Produção Mineral: Ministério das Minas e Energia. [Org] Helmut, P. ; [Coord] Oliveira, A. C. Brasília. 37 p.
- DNPM. Sumário Mineral Brasileiro 2005. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br>>. 2005.
- ESTON, S. M. Conceitos básicos de ventilação na lavra subterrânea. São Paulo, Apostila do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP. 2004.
- ESTON, S. M. Problemas de conforto termo-corporal em minas subterrâneas. *Revista de Higiene Ocupacional*, v. 4, n.13, jul./set. São Paulo. 2005. p.15-17.
- FANGER, P. O. Thermal comfort. New York, Mcgraw-Hill. 1970. 244 p.
- GFMS. Gold Survey - Gold Fields Mineral Services. Disponível em: <[http://www.gfms.co.uk/publications\\_gold\\_survey.htm](http://www.gfms.co.uk/publications_gold_survey.htm)>. 2005.

GHINI, E. G. Conheça as diferenças entre os métodos de detecção de gases antes de escolher o monitor mais apropriado para sua aplicação. Clean News. Disponível em: <<http://www.clean.com.br>>. n° 5, julho. 2002.

HARTMAN, H. L. Mine ventilation and air conditioning. 2nd ed. New York, Wiley. 1982. 791 p.

HARTMAN, H. L. Mine ventilation and air conditioning. USA: Wiley-Interscience Publication, 1991. 721p.

ISO 7730:1994. International Organization for Standardization. Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. 1994.

MERCK. Manual Merck de Informação Médica - Saúde Para a Família. Disponível em: <[http://www.msd-brazil.com/msdbrazil/patients/manual\\_Merck/sumario.html](http://www.msd-brazil.com/msdbrazil/patients/manual_Merck/sumario.html)>. 2006.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Portaria 2.037 de dez. 1999. Normas regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho (NR-22): segurança e saúde ocupacional na mineração (122.000-4). Brasília, 1999. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/temas/segsau/legislacao/normas/conteudo/nr22>>. Acesso em: mar. 2006.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Portaria 3.214 de jul. 1978. Normas regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho (NR-15): atividades e operações insalubres (115.000-6). Brasília, 1978. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/temas/segsau/legislacao/normas/conteudo/nr15>>. Acesso em: mar. 2006.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Portaria 3.214 de jun. 1978. Normas regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho (NR-1): disposições gerais (101.000-0). Brasília, 1978. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/temas/segsau/legislacao/normas/conteudo/nr1>>. Acesso em: mar. 2006.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Portaria 3.751 de nov. 1990. Normas regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho (NR-17): ergonomia (117.000-7). Brasília, 1990. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br/temas/segsau/legislacao/normas/conteudo/nr17>>. Acesso em: mar. 2006.

MONTEAU, M. Instrumentação de gestão de segurança no trabalho. Comunicação apresentada ao Colóquio Técnico Internacional AIIT. Varsóvia, abril. 1986.

NETTO, A. L. SOBES - Sociedade Brasileira de Engenharia de Segurança, Artigo técnico - Exposição ao Calor 1º Parte, Arquivo disponível em <http://www.sobes.org.br>, 2003. 2p.

PROSSER, B.S.; WALLACE, K.G. Practical values of friction factors. Disponível em: <http://www.mvsengineering.com/papers>. 1997.

USGS. Mineral commodity summaries 2005. United States Geological Survey. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs>>. 2005.

VALE, E.; HERRMAN, H. Economia mineral do ouro no Brasil. In: TRINDADE, R. B.; FILHO, O. B. Extração de ouro. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p. 298-312.

VUTUKURI, V. S.; LAMA, R. D. Environmental engineering in mines. New York, Cambridge University Press. 1986. 504 p.

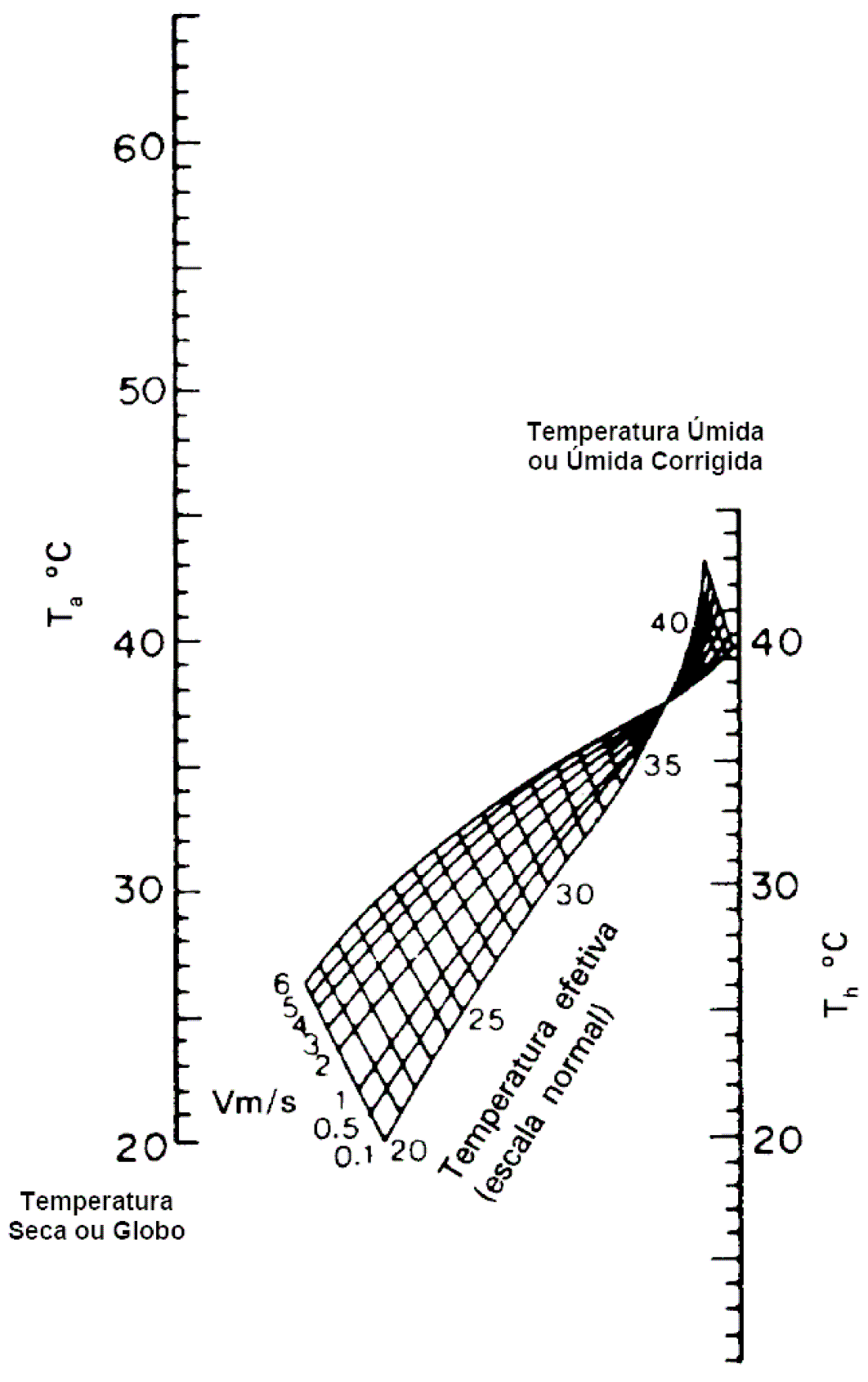
<http://www.cena.usp.br/Cipa/Cipa.htm>

<http://www.fundacentro.gov.br>

<http://www.saudeetrabalho.com.br/>

<http://www.ventisim.com/>

**ANEXO I - ÁBACO PARA CÁLCULO DA TEMPERATURA  
EFETIVA**



**ANEXO II - FORMULÁRIO DE ACOMPANHAMENTO DO  
IBUTG**

		<b>SETOR/DESCRIÇÃO DO LOCAL:</b> Desenvolvimento/ Piso de estéril batido umidificado, iluminação artificial e ventilação mecânica.		<b>DATA:</b> 16.10.2006
<b>DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE:</b> Atividade moderada – Abatimento de choco			<b>LOCAL/EQUIPAMENTO:</b> 10.1 Serrotinho elevação 345, lado esquerdo	
<b>CARGO:</b> Auxiliar de produção – 202010105114 ( 27 ) Auxiliar de produção – 201010909319 ( 27 )		<b>FUNÇÃO:</b> Auxiliar de produção Auxiliar de produção		<b>Nº REGISTRO:</b>
<b>INSTRUMENTO:</b> - Termômetro de Bulbo Úmido, Bulbo Seco e Globo.  - Anemômetro (Monitor climático ): Kestrel 4000 Nº de Série 499040		<b>CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO:</b> N° 19517.G-08.06 <b>DATA DE CALIBRÇÃO:</b> 14/08/2006  <b>CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO:</b> N° 72384-101 <b>DATA DE CALIBRÇÃO:</b> 07/06/06		
<b>METODOLOGIA:</b> Anexo nº 3 da NR – 15 da Portaria 3.214/78 do TEM e Norma NHT – 01 C/E – 1985 da FUNDACENTRO.				
<b>INFORMAÇÕES SOBRE EPI/EPC:</b> Não existe ventilação auxiliar na frente de serviço.				
<b>SITUAÇÃO TÉRMICA</b>			<b>ANÁLISE TÉRMICA</b>	
- Local em fundo de saco sem ventilação auxiliar.			<b>PRESSÃO ATM MÉDIA (hPa)</b>  975,6	
<b>TG</b>	<b>TBS</b>	<b>TBN</b>	<b>METABOLISMO MÉDIO (Kcal/h)</b>  220	
26,7	27,9	25,4		
<b>TEMPO</b>	<b>Kcal</b>	<b>IBUTG</b>	<b>IBUTG MÉDIO</b>  25,79	
60 minutos	220	25,79		
<b>HORÁRIO DE MEDIÇÃO:</b> 08:50 h.				
<b>HÁ CARGA SOLAR?</b> Não	<b>SOBRECARGA TÉRMICA</b>  EXISTE ( )  NÃO EXISTE ( X )		<b>IBUTG PERMISSÍVEL</b>  30,0	
<b>VEL.DO AR (m/s):</b> 0,4				
<b>VENTILAÇÃO MECÂNICA</b>				
<b>OBSERVAÇÃO:</b> Os trabalhadores fazem uso contínuo dos EPI conforme estabelece as NR's 6, 9 e 22 da Portaria 3214/78 do Ministério do Trabalho.				
<b>JORNADA DE TRABALHO:</b> 36 horas semanais				
<b>CONCLUSÃO</b> Conclui-se que a condição térmica do ambiente analisado é compatível com a atividade física do trabalhador, pois, o limite de tolerância estabelecido pelo quadro1 do anexo 3 da NR 15 da portaria 3.214 da lei 6.514 <b>não</b> foi excedido.				