

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

MARCOS DE MELO LOURENÇO

**ANÁLISE DA AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO SECUNDÁRIA
DO COMPLEXO DE MINAS DE IPUEIRA
CIA. DE FERRO LIGAS DA BAHIA – FERBASA – UNIDADE ANDORINHA/BA**

Recife
2016

MARCOS DE MELO LOURENÇO

**ANÁLISE DA AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO SECUNDÁRIA
DO COMPLEXO DE MINAS DE IPUEIRA
CIA. DE FERRO LIGAS DA BAHIA – FERBASA – UNIDADE ANDORINHA/BA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal de Pernambuco, ao Curso de graduação em Engenharia de Minas como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Área de concentração: Ventilação em mina subterrânea

Orientador:
Prof. Me. Robson Ribeiro de Lima /UFPE

Recife
2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

L892a Lourenço, Marcos de Melo.
Análise da automação do sistema de ventilação secundária do complexo de minas de ipueira Cia. de Ferro Ligas da Bahia – Ferbasa – unidade Andorinha/BA / Marcos de Melo Lourenço - 2016.
28 folhas, Il. e Tab.

Orientador: Prof^o Me. Robson Ribeiro de Lima.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Curso de Engenharia de Minas, 2016.
Inclui Referência.

1. Engenharia de Minas. 2. Ventilação de mina. 3. Mineração automatizada. 4. FERBASA. I. Souza, Júlio César de. (Orientador).
II. Título.

UFPE

623.26CDD (22. ed.)

BCTG/2016-136

MARCOS DE MELO LOURENÇO

**ANÁLISE DA AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO SECUNDÁRIA
DO COMPLEXO DE MINAS DE IPUEIRA
CIA. DE FERRO LIGAS DA BAHIA – FERBASA – UNIDADE ANDORINHA/BA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Pernambuco, e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca examinadora.

Aprovada em 14 / 12 / 2016

Banca Examinadora:

Prof. Me. Robson Ribeiro de Lima/UFPE

Prof. Dr. Marcio Luiz de Siqueira Campos Barros /UFPE

Mestrando Hermes Rodrigues /UFPE

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que tenho e tudo o que sou. Pelo dom da vida, por todas as oportunidades e conquistas, por Seus ensinamentos recebidos diariamente por meio das orações e escrituras o qual sempre me guiaram pelo melhor caminho. Sem sua força e sua presença em minha vida nada disto seria feito.

A minha noiva Jersyka Rebeca, que em todo tempo esteve ao meu lado me inspirando a ser um homem melhor, por suas brincadeiras e sorrisos que enchem meu coração de alegria transformando os momentos difíceis em prazerosos.

Aos meus pais Marcos Antônio e Margarete de Melo, por terem me ensinado o valor de “ser” ao invés de “ter”, pela educação e por me guiarem sempre no caminho correto, por me apoiarem nos momentos difíceis e por compartilharem comigo as minhas vitórias.

A minha irmã Bianca Evan por estar presente na minha vida, me apoiando nos meus ideais.

A Companhia de Ferro Ligas da Bahia – Ferbasa, por meio do Diretor Wanderlei Lins e o Superintendente Wellington Alcântara pela oportunidade de estágio. Ao Gerente de Produção Homero José Loureiro Sarmiento pela confiança, ao técnico responsável pela ventilação Ricardo de Santana Amorim que ficou responsável por supervisionar minhas atividades, por seu apoio, ideias e ensinamentos, e a todos os demais funcionários, em especial a Equipe de Ventilação da empresa.

Ao Prof. Robson Ribeiro de Lima pelo auxílio durante toda trajetória acadêmica, por ter acreditado em minha capacidade e a todos aqueles que colaboraram de forma direta e indireta, colegas e demais professores integrantes da Universidade Federal de Pernambuco.

RESUMO

O presente trabalho faz uma análise da implantação de um sistema automatizado na ventilação secundária do complexo de minas de Ipueira, pertencentes à Cia de Ferro Ligas da Bahia – Ferbasa, localizada na cidade de Andorinha-BA. Quando este trabalho estava sendo redigido o sistema em questão encontrava-se em processo de instalação da infraestrutura necessária para a transmissão de dados do subsolo, que será realizado por meio de cabos de fibra óptica. A pesquisa realizada para levantamento dos dados, necessários à análise, foram coletadas no campo por meio de instrumentos de medição, como painéis elétricos e anemômetro, e por simulações computacionais (*VENTSIM*). O objetivo foi o de detalhar as atividades que foram e serão realizadas durante a instalação e funcionamento do sistema automatizado na ventilação secundária, avaliar os benefícios que virão decorrente deste novo sistema, além de estimar reduções nos custos energéticos provenientes da utilização de inversores de frequência no acionamento dos equipamentos.

Palavras-chave: Ventilação de Mina. Mineração Automatizada. FERBASA.

ABSTRACT

This paper aims to present an analysis of a automatized system deployment in the secondary mine ventilation of Ipueira mining complex, operated by Cia de Ferro Ligas da Bahia – Ferbasa, located in Andorinha-BA city. When this work was written the system in question was in infrastructure installation process for underground data transmission, which will be realized with fiber optic cables. A research was conducted in order to collect data by using measurement instruments, such as electrical panels and anemometers, and computational simulation (VENTSIM). Its objective was to detail the activities that were and will be fulfilled during the installation and operation of the secondary ventilation automated system, evaluate the benefits that will come from this new system and to estimate the energetic cost reduction from the use of frequency inverters in equipment activation.

Keywords: Mining Ventilation. Automated Mining. FERBASA.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1. MÉTODOS DE LAVRA E SISTEMAS DE VENTILAÇÃO	7
3.2. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	8
3.2.1 Sistema de Transmissão de Dados	10
3.3. VENTILAÇÃO SOB DEMANDA	11
3.4. CÁLCULOS UTILIZADOS	11
3.4.1 Consumo de Energia	11
3.4.2 Lei dos Ventiladores	12
3.5 SIMULAÇÃO DA VENTILAÇÃO	13
4. METODOLOGIA DA PESQUISA	14
4.1. PESQUISA DE CAMPO.....	14
4.2. ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA	14
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	15
5.1. INFRAESTRUTURA E COMPONENTES DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO .	15
5.1.1. Vantagens do Inversor de Frenquência na Ventilação	18
5.2. BENEFÍCIOS DA AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO SECUNDÁRIA	20
5.2.1.Redução de Custos	20
5.2.2.Melhoria na Qualidade do Processo	21
5.2.3.Segurança	22
6. CONCLUSÃO	23
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	23
REFERÊNCIAS	24

1. INTRODUÇÃO

A automação é uma área de pesquisa que vem ampliando sua atuação gradativamente nos últimos anos. O uso de dispositivos e a aplicação de soluções desenvolvidos em automação industrial tem grande repercussão, sobretudo no setor industrial. As aplicações não se resumem a substituir o trabalho humano em tarefas exaustivas, monótonas e perigosas; elas trazem melhoria na qualidade de processos, otimização dos espaços, redução no tempo de produção e custos.

Visando a redução de custos energéticos e buscando um maior controle nos parâmetros dos processos da mineração, a Cia de Ferro Ligas da Bahia – FERBASA está fazendo investimentos na automação dos sistemas de ventilação secundária, bombeamento e ar comprimido do complexo de minas de Ipueira.

Atualmente já se encontra automatizado, o moderno sistema de ventilação principal das minas da FERBASA, com painéis inversores e comando remoto, permitindo maior versatilidade e agilidade no controle das operações de ventilação. A implantação desse sistema automatizado garantiu um corte nos custos energéticos da ventilação principal em quase 70%, o que significa uma grande economia de energia, em vista que a ventilação da mina chega a representar até 45% dos custos energéticos totais (2016) da mina, segundo dados da FERBASA.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Apresentar o projeto de automação e analisar os benefícios trazidos pelos investimentos realizados no sistema de ventilação secundária no complexo de minas de Ipueira.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

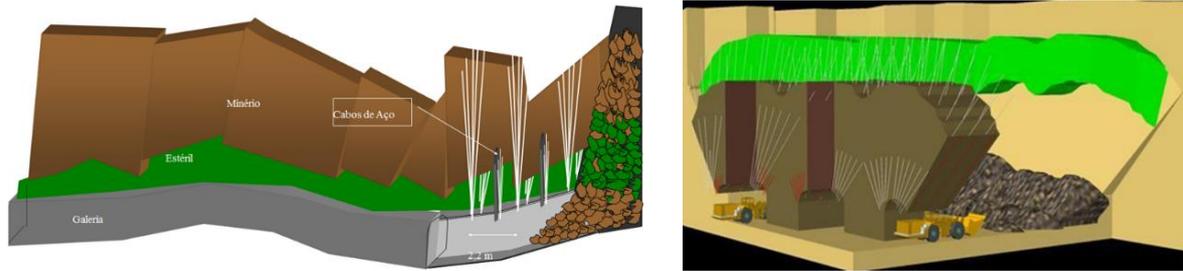
- Apresentar a infraestrutura implantada para funcionamento do sistema automatizado e os equipamentos utilizados;
- Estimar a redução no consumo e nos custos de energia elétrica da ventilação;
- Avaliar as melhorias promovidas pela automação no sistema secundário de ventilação.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. MÉTODOS DE LAVRA E SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

Os métodos de lavra utilizados no complexo de minas de Ipueira, pertencentes a Cia de Ferro Ligas da Bahia – Ferbasa, são o *Sublevel Caving* e o *Sublevel Open Stopping*, que consistem no abatimento do minério em subníveis longitudinais, com acessos por rampas, desenvolvidas no estéril seguindo a direção do corpo mineralizado, e galerias que são desenvolvidas na lapa do minério (FERBASA, 2016), como representado na **Figura 01**.

Figura 1 – Ilustrações dos métodos de lavra. *Sublevel Caving* à esquerda e *Sublevel Open Stopping* à direita

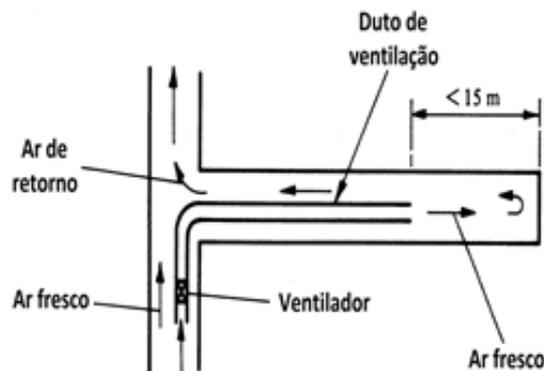


Fonte: FERBASA.

O sistema principal de ventilação funciona de forma a retirar o ar da mina pelas chaminés de ventilação gerando uma diferença de pressão que força o ar da superfície a entrar e circular por toda a rampa principal. O investimento na automação e modernização do circuito de ventilação principal das minas de Ipueira e Medrado trouxe uma série de benefícios, entre eles a possibilidade de controlar a potência dos ventiladores a partir da central de comando, dando mais dinâmica e rapidez ao processo de controle dos ventiladores (FERBASA, 2016).

O sistema de ventilação secundária utilizada na empresa é por insuflação, **Figura 02**. Ventiladores são instalados no teto da rampa principal e dutos de ventilação são acoplados e direcionados para frentes em atividade, o ar é então insuflado para os locais onde a ventilação principal não consegue atuar. Este sistema representa em média 60% dos custos com energia da ventilação da mina subterrânea (FERBASA 2016). Por apresentar muitas perdas, pelo sistema manual de acionamento e desligamento e pela falta de controle da rotação de alguns ventiladores, a automação deste sistema acarretará na redução nos custos de energia consideravelmente altos.

Figura 02 – Ilustração de um sistema de ventilação insuflante.



Fonte: FERBASA.

3.2. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Através dos séculos o homem tem buscado novas formas de melhorar os seus processos produtivos. A partir da segunda metade do século XX a tecnologia se desenvolveu e permitiu automatizar estes processos. No desenvolvimento da industrialização, primeiramente veio a mecanização, que era o uso de ferramentas e maquinaria para auxiliar o homem nas tarefas industriais. A automação é um passo que veio após a mecanização. (SOUZA, 2009)

Um sistema automático é aquele em que a operação manual executada pelo ser humano foi substituída por uma máquina que executa quase ou todas as operações em um determinado procedimento produtivo (WAGNER, 2013). Existe porém uma diferença entre mecanização e automação industrial. Na mecanização, as máquinas são utilizadas para ajudar o trabalho do homem, porém dependem de sua ação de controle para serem operadas. A “inteligência” do sistema está, portanto, centrada no homem. Na automação industrial, por sua vez, as máquinas, além de livrarem o homem de esforços físicos, possuem também a capacidade do controle de suas operações. Sendo assim, temos que a “inteligência” está centrada na própria máquina, tendo o homem o papel de supervisionar a ação dos sistemas automatizados. Desta maneira, uma máquina automática irá representar um sistema no qual um processo programado é executado, quase que de forma autônoma, após sua inicialização, sendo desnecessária constantes intervenções humanas (ALBUQUERQUE e SILVA, 2011).

Albuquerque e Silva (2011) definem a automação industrial como “[...] um conjunto de técnicas cujo objetivo é tornar automáticos vários processos industriais através da substituição da mão de obra humana por equipamentos diversos. [...]”. Entre as técnicas para automação industrial existentes, podem ser destacadas o comando numérico, os controladores lógicos programáveis (CLP), o controle de processos, os sistemas CAD (Desenho Assistido por Computador) /CAM (Manufatura Assistida por Computador), entre outras (PAREDE e GOMES, 2011).

Nas minas de Ipueira a técnica utilizada na automação industrial foi a utilização de Controladores Lógicos Programáveis (CLP). O CLP é um conjunto de circuitos eletrônicos interligados formados por processadores, memórias, barramentos, dispositivos de entrada e saída, fonte de alimentação e terminal de programação (PAREDE e GOMES, 2011), podemos compará-lo com um computador projetado especialmente para aplicações industriais.

As vantagens da utilização do CLP em aplicações industriais são inúmeras e cada dia surgem novas, que resultam em maior economia, que superam os custos do equipamento. Essa evolução oferece grande número de benefícios, por exemplo (PAREDE e GOMES, 2011):

- Maior produtividade;
- Otimização de espaço.
- Alto MTBF (tempo médio entre falhas).
- Baixo MTTR (tempo de máquina parada).
- Maior segurança para os operadores.
- Menor consumo de energia.
- Redução de refugos.
- Reutilização do cabeamento.
- Maior confiabilidade.
- Fácil manutenção.
- Projeto de sistema mais rápido.
- Maior flexibilidade, satisfazendo maior número de aplicações.
- Interface com outros CLPs através de rede de comunicação.

3.2.1 Sistema de Transmissão de Dados

O sistema adotado para transmissão de dados no subsolo da mina de Ipueira foi por meio de cabos de fibra óptica. Para melhor detalhamento das características e vantagens da fibra óptica em comparação a outros meios de transmissão de dados, utilizaremos um texto extraído do artigo publicado por Amanda Mata no site Oficina da Net.

[...] Cabos de fibra óptica estão substituindo fios de cobre para aumentar a velocidade de transmissão de informação digital. Estes cabos são feixes de “fios de vidro” extremamente puros que foram revestidas em duas camadas de plástico reflexivo. Uma fonte de luz é ligada e desligada rapidamente a uma extremidade do cabo de transmissão de dados digitais. A luz viaja através dos fios de vidro e de forma contínua reflete fora do interior dos revestimentos plásticos espelhados em um processo conhecido como reflexão total interna. Sistemas baseados em fibra óptica pode transmitir bilhões de bits de dados por segundo, e eles podem até mesmo levar vários sinais ao longo da mesma fibra usando lasers de cores diferentes. Esses cabos são tão finos quanto um fio de cabelo humano que carregam a informação digital ao longo de grandes distâncias. [...]

As fibras ópticas são produzidas e comercializadas em 2 tipo distintos o Monomodo e o Multimodo. O tipo Monomodo é usado para transmissões de sinais em grandes distâncias, porem exige muito cuidado no seu manuseio, exige muita técnica para sua instalação e emitem sinais em apenas um direção, além do seu custo elevado. Já o tipo Multimodo é utilizado para comunicações com redes locais, possuem um diâmetro maior e assim, é possível transitar mais de um sinal, em ambas as direções, através de lasers e LEDs (MATA, 2015).

Como todo produto existem a fibra apresenta pontos positivos e negativos, e situações benéficas para o uso desse ou daquele determinado produto ou serviço, a fibra ótica não foge dessa realidade. Veja algumas das vantagens e desvantagens dessa tecnologia (MATA, 2015):

Vantagens:

- Dimensões Reduzidas;
- Capacidade para transportar grandes quantidades de informação (Um par de fibras ópticas, cujo diâmetro pode ser comparado com o de um fio de cabelo, pode transmitir 2.5 milhões ou mais de chamadas telefônicas ao mesmo tempo. Um cabo de cobre com a mesma capacidade teria um diâmetro da ordem de 6 m!);
- Imunidade às interferências eletromagnéticas;
- Matéria-prima muito abundante;
- Segurança no sinal;
- Facilidade na instalação;
- Menos deterioração com o tempo comparando com os fios de cobre.

Desvantagens:

- Custo elevado;
- Fragilidade das fibras óticas sem encapsulamento;
- Dificuldade para ramificações (Uma rede ponto a ponto seria mais viável, caso contrário as conexões tipo “T” sofrem com perdas muito elevadas de dados);
- Impossibilidade de alimentação remota dos repetidores;
- Falta de padronização dos componentes ópticos.

3.3. VENTILAÇÃO SOB DEMANDA

John Marks (apud PRITCHARD, 2010) disse em seu discurso de agradecimento durante o Prêmio Howard L. Hartman em 2008 – “Suponho que sem as devidas precauções, é provável que sua mina esteja excessivamente ventilada” (tradução livre). Os profissionais da mineração raramente se preocupam com esta situação, muitas vezes passam a maior parte do tempo tentando apenas suprir a mina com ar para manter o funcionamento das operações (PRITCHARD, 2010). Com a análise, algumas modificações podem ser feitas para melhorar a eficiência do sistema de ventilação. Se houver excesso de ventilação, a tomada de medidas de controle do sistema pode gerar benefícios financeiros e operacionais (O’CONNOR, 2008).

O conceito de ventilação sob demanda vem, então, da necessidade de que sejam projetados sistemas de ventilação que forneçam uma quantidade ideal de ar à mina, buscando sempre cumprir com as normas vigentes, de higiene e segurança dos trabalhadores, com menor custo de operação possível (consumo de energia, manutenção dos equipamentos, etc.) (ALLEN e TRAN, 2008).

As normas que regulamentam os critérios a serem cumpridos pela Ventilação de minas são: a Norma Regulamentadora 22 (tópico 22.24) - Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração, do Ministério do Trabalho e Emprego, e a Norma Regulamentadora de Mineração 06 – Ventilação, do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Outra Norma Regulamentadora que deve ser observada como fundamento para a avaliação da ventilação sob demanda é a NR 15 – Atividades e Operações Insalubres.

Dentre os parâmetros operacionais, de higiene e segurança impostos pelas normas deve-se uma atenção a mais para a vazão mínima fornecida à mina, quantidade de oxigênio para suprir homens e máquinas, concentração de gases (asfixiantes, irritante, tóxicos, explosivos e radioativos), poeiras originadas nas operações de produção, temperatura e a umidade do ambiente (ARAÚJO, 2009).

3.4. CÁLCULOS UTILIZADOS

3.4.1 Consumo de Energia

Os ventiladores utilizados na Ventilação de mina da FERBASA são todos movidos a energia elétrica e, como visto, representam cerca de 60% do consumo de energia elétrica da mina subterrânea. Portanto, o controle do consumo de energia elétrica pelos ventiladores é importante pois auxilia na redução do consumo e evita desgastes nos equipamentos, o controle é realizado mensalmente pela empresa (FERBASA, 2016).

Segundo a ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, para calcular o consumo de um equipamento deve-se multiplicar sua potência pelo tempo de funcionamento em horas. Desta forma, para calcular o consumo de energia elétrica dos ventiladores da mina por mês, em kWh/mês, é só utilizar a seguinte expressão:

$$\text{Consumo} \left(\frac{kWh}{\text{mês}} \right) = \frac{\text{Potência do equipamento (Watts)}}{1000} \times \text{Horas de funcionamento no mês}$$

Para fins deste estudos, houve a necessidade do levantamento do consumo de energia elétrica por cada ventilador, a fim de estimar as reduções provenientes do sistema automatizado da ventilação secundária.

3.4.2 Lei dos Ventiladores

A lei dos ventiladores é um conjunto de equações que possibilitam, com boa precisão, determinar o desempenho de um equipamento, em novas condições de teste, a partir de uma condição conhecida. Ao mesmo tempo, estas leis permitem determinar os desempenhos de uma série de ventiladores, geometricamente semelhantes, a partir das características de um ventilador testado (HARTMAN, 1982).

Segundo Soler & Parlau, “as leis dos ventiladores estão indicadas, sob forma de relação de magnitudes, em equações que se baseiam na teoria da mecânica de fluidos e a sua exatidão é suficiente para a maioria das aplicações, desde que o diferencial de pressão for inferior a 3 kPa, acima do qual é preciso ter em conta a compressibilidade do gás”.

Desta forma, quando um ventilador é submetido a regimes distintos de rotação ou são alteradas as condições do fluido que transfere, podem ser calculados previamente os resultados que obteremos a partir dos conhecidos, por meio de umas leis ou relações simples que também são de aplicação quando se trata de uma série de ventiladores homólogos, isto é, de dimensões e características semelhantes que se mantêm mesmo ao variar o tamanho ou ao passar de um ventilador para qualquer outro da mesma família (SOLER & PARLAU). Isto em vista que ventiladores homólogos tem as suas curvas características, que indicam a sua capacidade de produzir uma vazão de ar em função da pressão que lhe é exigida, semelhantes uns dos outros.

As variáveis de um ventilador são a velocidade de rotação, o diâmetro da hélice ou rolete, as pressões total, estática e dinâmica, o fluxo, a densidade do gás, a potência absorvida, o rendimento, o nível sonoro e as pressões estática, que atua em todos os sentidos dentro do duto de ventilação; dinâmica, que atua no sentido da velocidade do ar; e total, que é a soma da pressão estática e dinâmica (HARTMAN, 1982). A estas variáveis atribuem os seguintes símbolos e unidades:

Tabela 1 – Variáveis de um ventilador, símbolos e unidades.

Símbolo	Conceito	Unidade
D_r	Diâmetro hélice/rolete	m
L_{wt}	Nível potência total sonora	dB
n	Velocidade rotacional	rpm
P_m	Potência mecânica fornecida ao ventilador	W
H_s	Pressão do ventilador	Pa
Q	Fluxo de entrada (vazão)	m^3/s
w	Densidade	kg/m^3

Fonte: SOLER & PARLAU adaptado.

Deve-se ter em conta, antes de utilizar as leis dos ventiladores, que os valores conhecidos sejam de um aparelho da mesma família e que vai trabalhar nas mesmas condições sob as quais queremos determinar os novos valores, e que as condições do ventilador sejam

todas proporcionais às correspondentes ao tomado como ponto de partida. Também é necessário que a velocidade do fluido dentro do ventilador seja proporcional de um a outro e para o qual deve ser verificado que a razão entre a velocidade periférica de dois pontos de um rolete seja a mesma que a de entre dois pontos semelhantes do outro rolete (SOLER & PALAU).

A seguir serão apresentadas as equações das leis dos ventiladores:

Tabela 2 – Lei dos ventiladores.

1ª Lei	Varição da Velocidade	$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1} ; \frac{H_{S_2}}{H_{S_1}} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 ; \frac{P_{m_2}}{P_{m_1}} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 ; \eta_2 = \eta_1$
2ª Lei	Varição do Diâmetro	$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 ; H_{S_2} = H_{S_1} ; \frac{P_{m_2}}{P_{m_1}} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 ; \eta_2 = \eta_1$
3ª Lei	Varição da Densidade	$Q_2 = Q_1 ; \frac{H_{S_2}}{H_{S_1}} = \frac{w_2}{w_1} ; \frac{P_{m_2}}{P_{m_1}} = \frac{w_2}{w_1} ; \eta_2 = \eta_1$

Fonte: HARTMAN, 1982, adaptado.

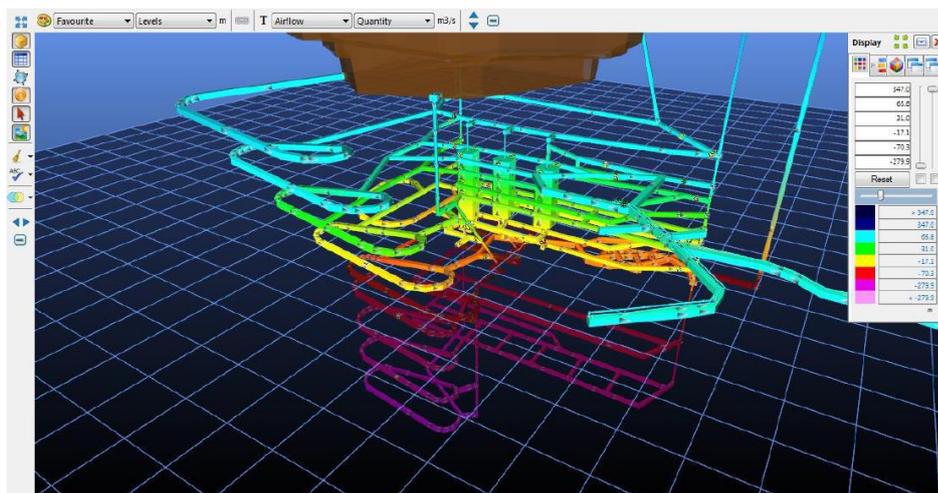
Para o presente estudo utilizou-se apenas a 1ª Lei da Ventilação que consiste na Variação da Velocidade, o qual é o parâmetro que será controlado pelo sistema automatizado.

3.5 SIMULAÇÃO DA VENTILAÇÃO

Os sistemas de ventilação tem sido uma das principais preocupações nas minas subterrâneas por centenas de anos, mas antes da introdução da análise por modelos computadorizados nos últimos 40 anos, o planejamento e modelagem dos sistemas de ventilação foram em grande parte feitas como uma arte, contando com a experiência, conjecturas e cálculos extensos (VENTISIM, 2015).

Para análises de novas distribuições de ventilação, aberturas de chaminés, instalação de novos dutos para ventilação de galerias, projeção de futuras galerias, é utilizado na Ferbasa uma moderna ferramenta computacional para análise dos circuitos de ventilação o Ventsim Visual™.

Figura 3 – Ventsim Visual™ Janela principal



Fonte: Ventsim Visual™ User Guide.

Ventsim Visual TM é um software de origem australiana que tem por objetivo fazer simulações de sistemas de ventilação com um design acessível e facilitado para qualquer engenheiro de minas ou oficial de ventilação. Este software foi escrito para tornar o processo de análise do modelo de ventilação tão fácil de usar quanto possível. Utiliza-se de sofisticados gráficos 3D, impulsionado por uma interface gráfica totalmente controlada por mouse (VENTSIM, 2015).

4. METODOLOGIA DA PESQUISA

4.1. PESQUISA DE CAMPO

O levantamento de informações, referentes a infraestrutura instalada para o sistema de automação industrial nas minas de Ipueria, foi realizado durante o período de pesquisa, com o acompanhamento das atividades de instalação e manutenção das redes de distribuição de dados, e vistoriamento dos componentes responsáveis pelo funcionamento do sistema.

Toda infraestrutura foi analisada, desde a central de informações, por onde os dados serão transmitidos, até as frentes de serviço, onde o sistema de ventilação secundária deve atuar. Passou-se pela rede de transmissão, receptores e transmissores de dados, pelos painéis de controle e pelos equipamentos a serem controlados, os ventiladores. Alguns dados como o comprimento e percurso das linhas de transmissão, foram obtidos com o uso do *AutoCAD* e o *Maptec Vulcan 3D*, softwares de desenho técnico.

Foram realizadas, durante o período de pesquisa, levantamentos junto a outros setores correlacionados à ventilação, como o Setor de Segurança do Trabalho e o Setor de Manutenção Elétrica da FERBASA, a fim de se avaliar os benefícios que serão obtidos com a automação do sistema de ventilação.

Durante a fase de pesquisa de campo foram coletados os dados de rotação, potência dos ventiladores em atividade e os parâmetros de cada equipamento. Foi realizada a medição de vazão em cada frente de serviço em atividade, no período da análise, para simulações posteriores.

A rotação e a potência dos ventiladores foram coletados nos painéis de controle de cada equipamento. As vazões nas galerias foram obtidas seguindo o procedimento adotado pela empresa, que consiste em coletar com o uso de um anemômetro digital, a velocidade do fluxo de ar em cinco pontos na saída dos dutos de ventilação, sendo um dos pontos no centro, os outros a esquerda, direita, acima e abaixo do primeiro coletado, de onde é feita uma média.

Após a coleta da velocidade do fluxo de ar bastou multiplicar pela área de saída dos dutos para obtermos a vazão de alimentação nas frentes de serviços, os dutos de ventilação utilizados são padronizados, e todos possuem 1000 mm de diâmetro. A vazão nos níveis se dá pela soma das vazões dos dutos nas galerias presentes em cada nível.

4.2. ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA

O estudo quantitativo para análise na redução de custos com o consumo de energia foi realizado seguindo a sequência de análise dos dados coletados, simulação computacional e tratamento dos dados.

Uma vez obtidos os dados, estes foram inseridos no *Ventsim*, software de simulação de ventilação, de onde foram realizadas simulações em três cenários distintos: sem o sistema automatizado, o sistema em funcionamento no período estudado e o sistema totalmente automatizado. Segundo estudos realizados pela FERBASA a vazão em cada galeria deve ser de 3 m³/s e em cada nível de 12 m³/s, para manter um ambiente ideal de trabalho para os profissionais da mineração e estar de acordo com a norma.

Por falta de informações mais detalhadas dos equipamentos não foi possível simular no software todos os parâmetros necessários para realização do estudo, sendo possível apenas simular a vazão e a rotação dos ventiladores. Para simulação das potências dos ventiladores em cada cenário fez-se o uso da primeira Lei dos Ventiladores, pois tem-se em mão as vazões, rotações e potências do sistema no período estudado e as vazões e rotações simuladas para os outros cenários.

Assim, foi feita uma análise quantitativa, por simulação, de quanto seria a economia em consumo de energia, no período entre 01/05 a 01/06/2016 considerando três cenários: todos os ventiladores funcionando na rotação máxima, todos os ventiladores secundários controlados por inversores de frequência e o conjunto atual da ventilação. Após a realização das simulações comparou-se os resultados obtidos.

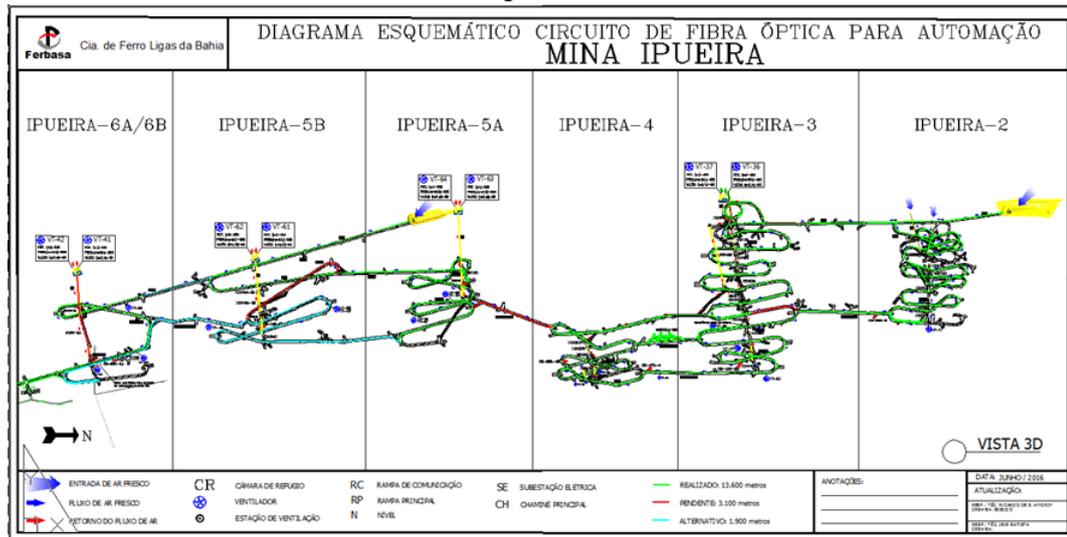
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. INFRAESTRUTURA E COMPONENTES DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

Dentre as diversas possibilidades de sistemas de transmissão de dados existentes no mercado, o corpo técnico responsável pelo planejamento e execução da infraestrutura e parametrização do sistema de automação da FERBASA, decidiu pelo uso da fibra óptica tipo mono modo para a comunicação do sistema de automação das minas de Ipueira, pelas vantagens já descritas.

No momento da elaboração deste trabalho, a fibra óptica já estava totalmente instalada na superfície e em processo final de instalação no subsolo da Mina Ipueira. A mina foi dividida em duas redes com topologia em anel, o primeiro anel está interligando as minas de Ipueira 2, 3 e 4 totalizando 10.500 metros de fibra óptica e o segundo as minas de Ipueira 5A, 5B, 6A e 6B com 8.100 metros de fibra, como mostrado na **Figura 4**.

Figura 4 – Diagrama Esquemático do Circuito de Fibra Óptica para Automação da Mina Ipueira.



Fonte: FERBASA.

Tabela 3 – Situação da aplicação das Fibra Ópticas.

	Anel 1 – Ipueira 2, 3 e 4	Anel 2 – Ipueira 5A, 5B, 6A e 6B
Aplicado	9.500	4.500
Pendente	-	2.700
Alternativos	1.000	900
Total	10.500	8.100

Fonte: FERBASA.

A aplicação está sendo feita seguindo as recomendações de utilização das fibras, como cuidados com impactos, quedas e ângulo de curvatura. Estão sendo instaladas no teto das Rampas Principais suportes de 2 em 2 metros buscando evitar a catenária da fibra.

Após a conclusão da aplicação das fibras se dará início ao processo de fusão das emendas e dos Divisores Interno Óptico nos painéis de controle. A fusão seguirá um padrão de execução que será dividido em: limpeza das fibras com álcool isopropílico, clivagem das fibras com o uso de um clivador específico (KL-21B high precision fiber cleaver - Jilong) para garantir a precisão do corte em um ângulo de 90° e a fusão das fibras com o equipamento FusionSplicer KL-300T – Jilong.

Para o controle das informações que passarão pela rede até os equipamentos serão utilizados Controladores Lógicos Programáveis CLP, que são aparelhos eletrônicos digitais que utilizam uma memória programável para o armazenamento interno de instruções para implementações específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar através de módulos de entrada e saída vários tipos de máquinas e processos. Serão utilizados quatro CLPs, nas entradas e saídas de cada rede, sendo assim, dois para cada anel.

O cabo de fibra óptica utilizado na mina é composto por 4 pares de fibras. Eles serão distribuídos de forma que um par será exclusivo para a automação, outro para transmissão de

dados (telefone, internet, imagem, etc.), outro para controle das carregadeiras automatizadas da Atlas Copco e o último ficará de reserva para futuras aplicações.

A informação assim será transmitida pelas fibras ópticas até os painéis de controle. Os painéis de controle de automação no subsolo já foram devidamente instalados em pontos estratégicos, próximos aos equipamentos a serem automatizados (ventiladores e bombas de polpa). São ao todo 25 painéis de controle em todas as minas de Ipueira sendo 13 no primeiro anel de rede e 12 no segundo. Nos painéis encontramos Divisores Interno Óptico (DIO) que tem a função de separar as fibras e junto com conversores possibilitar a comunicação das fibras com os Switchs. Os switchs por sua vez são aparelhos parametrizados para identificar e transmitir a informação para as Chaves de Partida dos equipamentos (ventiladores, bombas, compressores, sensores, etc.) com 4 entradas/saídas de dados onde 3 serão usadas como carga e 1 será destinada a manutenção.

São utilizados atualmente 2 tipos de chave de partida na automação: as Chaves Eletrônicas (Soft-Starter) e os Inversores de Frequência. Os inversores são ideais para a automação da ventilação, são equipamentos capazes de trabalhar com tensões e frequências ajustáveis, enquanto que as chaves de partidas soft-starters não são flexíveis, desta forma os ventiladores têm que trabalhar com potência máxima todo o tempo que estiver ligado. Atualmente existem 19 ventiladores secundários instalados na mina, destes 8 estão com inversor de frequência.

Tabela 4 –Relação de Pendências da Automação (23/03/2016)

MATERIAL	QUANTIDADE				UND.
	NECESSÁRIA	APLICADA	ESTOQUE	PENDENTE	
CHAVE SSW-06	16	7	2	7	Peças
CHAVE CFW-11	16	6	1	9	Peças
CONVERSORES DE MÍDEA	50	29	16	5	Peças
DIO	50	21	0	29	Peças
EXTENÇÃO ÓPTICA CONECTORIZADA	320	160	0	160	Peças
CORDÃO ÓPTICO LC/SC	50	0	0	50	Peças
FONTE 1606 XLE	25	18	0	7	Peças
SWITCHS STRATIX 5700	25	25	0	0	Peças
PLACAS DE REDE SSW-06	16	9	3	4	Peças
PLACAS DE REDE CFW-11	16	8	1	7	Peças
CONECTOR DE CAMPO	37		38	1	Peças
CABO ETHERNET	309	0	610	301	Metros
FIBRA ÓPTICA	24600	14000	6000	6000	Metros
PRENSA CABOS	125	114	0	11	Peças
CAIXA DE EMENDA	10	0	12	2	Peças
ESTAÇÕES	0	20	0	20	Peças

Fonte: FERBASA.

No ritmo atual de trabalho até o final do ano de 2016 será concluída a implantação do projeto, onde começaram os teste de ajustes e adequações dos sistemas, a partir de parametrizações estabelecidas para cada modo de operação.

5.1.1. Vantagens do Inversor de Frenquência na Ventilação

O controle da rotação dos ventiladores possibilita uma redução considerável no consumo de energia. O circuito principal de ventilação das minas Ipueira e medrado é formado por 11 ventiladores, todos contam com chaves de partida inversoras de frequência que permitem que estes operem em diversas potências de trabalho. A automação deste sistema foi realizada recentemente, desta forma a ventilação principal é feita de acordo com a demanda da mina. Nos horários em que a circulação de equipamentos é menor, como nas trocas de turno, os ventiladores trabalham com uma potência reduzida. Esta nova configuração acarretou numa economia de 68,36% no consumo de energia, quando comparado aos ventiladores trabalhando em sua rotação nominal, pagando todo o investimento no circuito principal em menos de um ano (Dados FERBASA, 2016).

O circuito secundário de ventilação por sua vez ainda não se encontra totalmente com inversores de frequência. Espera-se que com a automação e a instalação de chaves de partida com inversor de frequência em todos os ventiladores haja uma economia de energia significativa assim como as observadas no sistema de ventilação principal.

Os resultados obtidos pela comparação dos três cenários pode ser observado a seguir na **Tabela 5**.

Tabela 5 – Consumo energético e custo dos ventiladores Secundários com Chave de Partida Soft Starter e Inversor de frequência, das minas de Ipueira.

Mina	Ipueira 3		Ipueira 4				Ipueira 5A				Ipueira 5B				Ipueira 6A				Ipueira 6B
	VT-53	CFW.11	VT-32	VT-66	VT-57	VT-46	VT-17	VT-38	VT-65	VT-19	VT-45	VT-67	VT-49	VT-60	VT-52	VT-55	VT-47	VT-33	
Chave de Partida			S.S.06	S.S.06	S.S.03	S.S.06	P.D.	S.S.03	S.S.06	P.D.	CFW.11	CFW.11	CFW.11	S.S.06	CFW.11	S.S.03	CFW.11	S.S.06	
Horimetro (01/05/2016 - 01/06/2016) (b)	371	317	2	424	503	296	501	296	359	440	123	510	6	443	630	215	639		
Rotação máxima	1.780,00	1.780,00	1.775,00	1.775,00	1.775,00	1.780,00	1.780,00	1.780,00	1.780,00	1.780,00	1.780,00	1.780,00	1.780,00	1.780,00	1.780,00	1.780,00	1.780,00	1.780,00	
Vazão simulada (m³/s)	16,84	11,95	15,32	23,55	10,11	65,00	11,46	3,79	3,51	17,23	17,49	9,43	19,45	28,51	17,10	10,70	13,08		
Potência Consumida (kWh)	42,68	82,00	37,00	40,00	65,00	65,00	65,00	29,00	30,00	98,59	62,01	70,22	78,00	46,81	46,00	99,14	78,00	Total	
Custo Mensal Simulado (R\$0,32/kWh)	5.067,41	8.318,08	23,68	5.427,20	10.140,48	4.262,40	10.100,16	2.746,88	3.446,40	13.881,64	2.440,76	11.460,15	149,76	6.636,40	9.273,60	6.820,58	15.949,44	RS 116.145,02	
Conjunto Atual	1.600,00	1.780,00	1.775,00	1.775,00	1.780,00	1.780,00	1.780,00	1.780,00	1.780,00	1.500,00	1.200,00	1.600,00	1.780,00	1.600,00	1.780,00	800,00	1.780,00		
Vazão medida (m³/s)	15,14	11,95	15,32	23,55	10,11	65,00	11,46	3,79	3,51	14,52	11,79	8,48	19,45	25,63	17,10	4,81	13,08		
Potência Consumida (kWh)	31,00	82,00	37,00	40,00	65,00	65,00	65,00	29,00	30,00	59,00	19,00	51,00	78,00	34,00	46,00	9,00	78,00	Total	
Custo Mensal (R\$0,32/kWh)	3.680,32	8.318,08	23,68	5.427,20	10.140,48	4.262,40	10.100,16	2.746,88	3.446,40	8.307,20	747,84	8.323,20	149,76	4.819,84	9.273,60	619,20	15.949,44	RS 96.335,68	
Inversor de frequência	1.600,00	1.780,00	1.400,00	900,00	1.780,00	1.780,00	1.780,00	1.500,00	1.780,00	1.500,00	1.200,00	1.600,00	1.100,00	1.600,00	1.300,00	800,00	1.780,00		
Vazão simulada (m³/s)	15,14	11,95	12,08	11,94	10,11	65,00	11,46	3,19	3,51	14,52	11,79	8,48	12,02	25,63	12,49	4,81	13,08		
Potência Consumida (kWh)	31,00	82,00	18,15	5,21	65,00	65,00	65,00	17,35	30,00	59,00	19,00	51,00	18,41	34,00	17,92	9,00	78,00	Total	
Custo Mensal Simulado (R\$0,32/kWh)	3.680,32	8.318,08	11,62	707,47	10.140,48	755,78	10.100,16	1.643,82	3.446,40	8.307,20	747,84	8.323,20	35,34	4.819,84	3.612,59	619,20	15.949,44	RS 81.218,78	

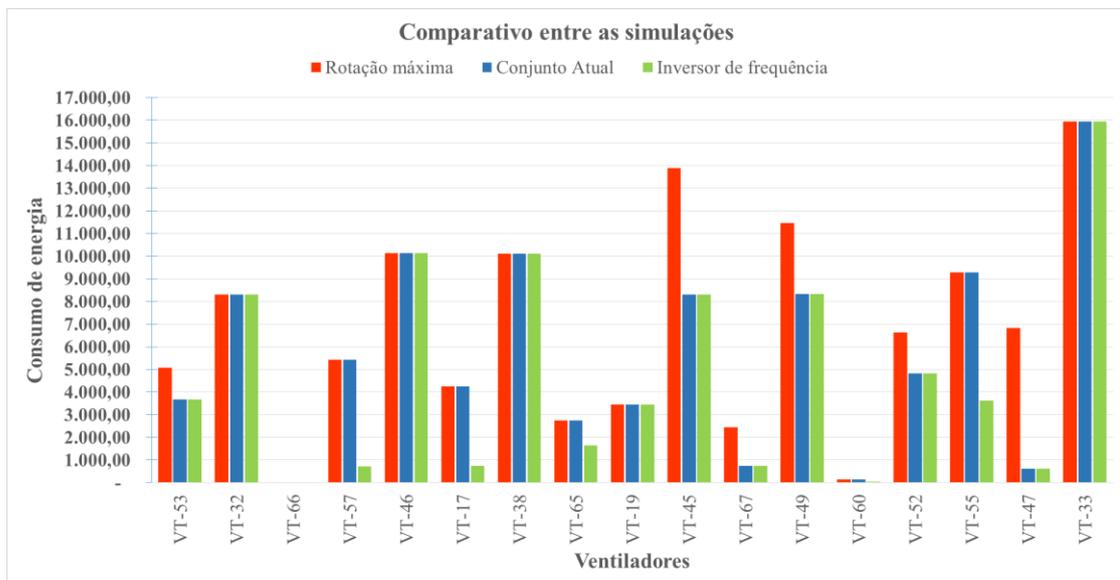
Fonte: Elaborado pelo autor

Vê-se que o consumo de energia para o conjunto atual de chaves de partida, no período de tempo estudado, foi de R\$ 96.335,68. Simulando a troca dos painéis atuais por Inversores de Frequência e ajustando a rotação dos ventiladores, para a realidade das galerias, temos que os custos caem para R\$ 81.218,78, uma queda de 15,7% no consumo de energia elétrica.

Comparando o sistema simulado na rotação máxima, sem controle por chave de partida inversora, com o sistema totalmente controlado por inversores de frequência, tem-se que para o período estudado a economia foi de R\$ 34.926,24, ou seja, 30,1% na redução do consumo de energia, o que de fato justifica um sistema completamente controlado por inversores.

O gráfico que se segue apresenta a comparação entre o consumo de energia elétrica dos três cenários analisados. Vê-se que, no período estudado, a utilização dos inversores de frequência trouxeram reduções significativas no consumo de energia e com a automação esse controle do consumo será ainda mais eficiente durante a vida útil da mina.

Figura 5 – Gráfico de comparação entre os ventiladores na rotação máxima (em vermelho), no conjunto atual de inversores (em azul) e totalmente controlados por inversores de Frequência (em verde).



Fonte: Elaborado pelo autor

5.2. BENEFÍCIOS DA AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO SECUNDÁRIA

5.2.1. Redução de Custos

A redução de custos está ligada principalmente ao controle da rotação dos ventiladores pelos Inversores de Frequência. A rotação dos ventiladores deverá acompanhar o avanço das galerias no desenvolvimento e o recuo durante a lavra, sempre buscando manter uma vazão adequada que atenda as normas e que traga conforto aos profissionais de mineração em suas atividades.

A parametrização da ventilação para diluição dos gases gerados nas detonações, no final dos turnos, seria um fator importante para redução de custos. Atualmente o ventilador permanece ligado mesmo após o tempo determinado para diluição, fornecendo ventilação para

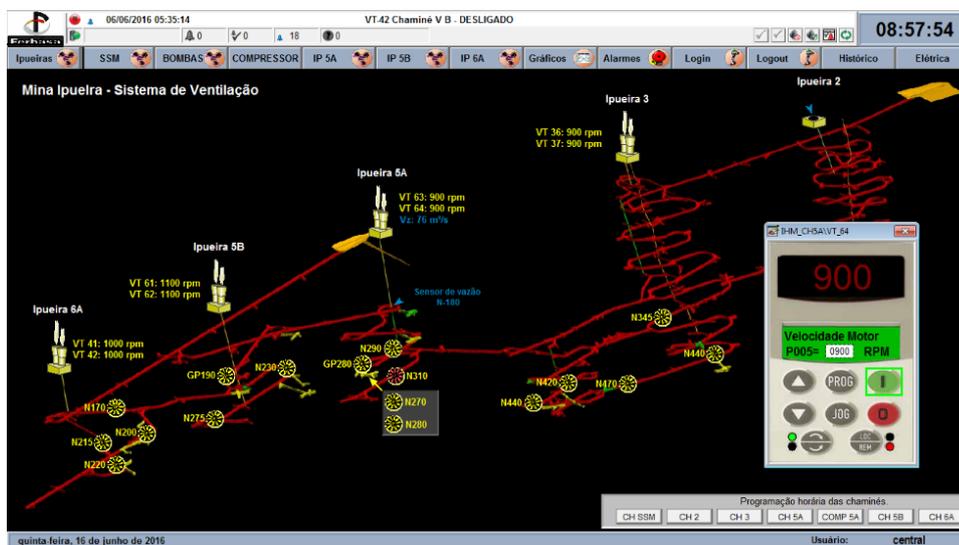
um nível sem atividade. O processo será otimizado por um sistema de desligamento automático da ventilação após o tempo determinado para diluição.

O controle do acionamento dos ventiladores pela Central de Comandos irá também mitigar os casos onde os profissionais saem do nível e não desligam a ventilação.

5.2.2. Melhoria na Qualidade do Processo

Com a infraestrutura da fibra óptica instalada e os componentes da automação devidamente parametrizados e configurados, será possível controlar a ventilação secundária remotamente pela Central de Operações. Além do controle será possível acompanhar em tempo real o funcionamento do sistema, supervisionando o modo operacional dos sistemas (falhas elétricas e/ou mecânica) e o consumo diário e horário de energia elétrica. A **Figura 6** mostra o supervisor utilizado na empresa

Figura 6 – Supervisor de Sistema de Ventilação das minas de Ipeira – FERBASA.



Fonte: FERBASA

O controle e o acompanhamento pela Central serão feitos por um supervisor, que terá a função de receber, armazenar e exibir as informações coletadas no sistema automatizado. O supervisor proporcionará inúmeros ganhos operacionais e de produtividade, evitando o mínimo de visitação humana no local, aumento da segurança, redução de custo operacional, acompanhamento e obtenção de dados em tempo real com maior confiabilidade e economia no consumo de energia elétrica dos sistemas.

O acionamento e desligamento dos ventiladores pelo supervisor na central de operações trarão as atividades uma maior fluidez, pois ao sair de um nível para outro os profissionais da mineração, que precisavam se deslocar até o painel de controle para desligar o ventilador, precisarão apenas entrar em contato pelo rádio solicitando a central o desligamento da ventilação.

Devido ao monitoramento remoto, informações sobre o funcionamento do sistema poderão ser coletados em tempo real, evitando o mínimo de visitação humana nos painéis de controle para leitura de dados como: Corrente de trabalho (A), horímetro mensal e acumulativo (h), potência de trabalho (kW), vazão (m^3/s) e velocidade de rotação (rpm), além de um diagnóstico contínuo do estado do equipamento (falhas elétrica e/ou mecânica).

geram variações abruptas na quantidade de vazão fornecida ao sistema, que podem ser detectadas imediatamente pelos equipamentos automatizados.

6. CONCLUSÃO

A automação da ventilação secundária somada com investimentos em inversores de frequência irá trazer a FERBASA uma série de benefícios, sendo a principal a economia energética pelo controle da rotação dos ventiladores. Espera-se reduções no consumo de energia pelo sistema secundário de ventilação da ordem de 20% do consumo atual.

Os benefícios não são apenas econômicos mas também funcionais, pois com a obtenção de dados pela central, através de sensores, o levantamento de informações para estudos e projetos será feito com maior velocidade, possibilitando um melhor controle e manutenção da ventilação na mina. A segurança da mina também será melhorada garantindo um ambiente de trabalho melhor.

Todos estes benefícios apresentados neste projeto estão levando em consideração apenas a automação do sistema de ventilação secundária, porém os benefícios e possibilidades que as redes de fibra óptica podem fornecer são incontáveis. A infraestrutura montada não está apenas preparada para tecnologias já existentes no mercado, mas também para novas inovações tecnológicas que possam vir a surgir.

Existe também a preocupação e responsabilidade da empresa em obedecer às normas vigentes, com isto em todo dimensionamento feito deve-se levar em consideração que, comprovadamente, a vazão de ar que entra na mina é suficiente para atender a toda a demanda da mina mesmo nos casos mais específicos.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar a continuação do estudo referente aos inversores de frequência durante os meses em atividade da mina, levantando maiores quantidades de dados, a fim de enriquecer a pesquisa e torna-la mais significativa.

Modernizar os sistemas de Ventilação sob Demanda da mina, pela adoção de um sistema de posicionamento e sensores, trabalhando simultaneamente, para controlar a rotação do ventilador de acordo com a demanda dos trabalho nos níveis, de forma automática e padronizada.

Realizar estudos do comportamento das resistências, do sistema de ventilação secundária, durante o desenvolvimento e lavra de um nível.

Efetuar um tratamento estatístico do consumo de energia pela ventilação de cada nível em cada etapa de operação e em diferentes comprimentos, de modo a verificar a representatividade, grau de influência e correlação entre os ventiladores e níveis em atividades na mina, o que poderia trazer benefícios na estimação do consumo energético de níveis ainda em planejamento.

Realizar estudo com relação ao tempo necessário para diluição dos gases gerados em uma detonação de acordo com a quantidade de explosivos utilizados, com o intuito de otimizar o tempo de atividade dos ventiladores durante a diluição.

REFERÊNCIAS

- HARTMAN, H. L. **Mine ventilation and air conditioning**. 3rd ed. New York, Wiley. p.791, 1982.
- FERBASA. Companhia de Ferro Ligas da Bahia. **Arquivos internos do Setor de Ventilação de Mina da Ferbasa**.
- O'CONNOR D.; **Ventilation on demand (VOD) auxiliary fan project – Vale Inco Limited, Creighton Mine**, 12th U.S./North American Mine Ventilation Symposium, Reno, NV, 2008
- ALLEN C., TRAN T.; **Ventilation-on-Demand Control System's Impact on Energy Savings and Air Quality**.
- ANEEL, **Aprenda a calcular o consumo de seu aparelho e economize energia**, Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/17-05_materia1_3.pdf. Acesso em: 17/04/2016.
- PRITCHARD, C.; **METHODS TO IMPROVE MINE VENTILATION SYSTEM EFFICIENCY**, NIOSH, Spokane, WA, 2010.
- ARAÚJO, A. M. **Ventilação Aplicada à Engenharia de Segurança do Trabalho**. Notas de aula. 6ª Aula. Universidade Federal de Pernambuco, 2009. Disponível em: <https://www.ufpe.br/ldpflu/Aula6Ventilacao.pdf>. Acesso em: 05/04/2016.
- SOLER & PALAU, S.A; **LEI DOS VENTILADORES**. Disponível em: http://www.solerpalau.pt/formacion_01_01.html, acesso em: 26/07/2016
- ALBUQUERQUE A., SILVA D.; **Introdução a Automação Industrial**. Departamento de Engenharia de Computação e Automação Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.
- PAREDE I., GOMES L.; **Eletrônica Volume 6: Automação industrial**, Centro Paula Souza, São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011.
- MATA, Amanda; **O que é Fibra Ótica e como funciona?**, Oficina da Net, 2015. Disponível em: <https://www.oficinadanet.com.br/artigo/redes/o-que-e-fibra-otica-e-como-funciona>. Acesso em: 10/01/2017.
- VENTSIM SOFTWARE, **Ventsim Visual™ User Guide**, Standard, Advanced and Premium Versions (Version 4.0), 2015. Disponível em: http://www.ventsim.com/manuals/ventsim_en.pdf. Acesso: 02/02/2016
- WAGNER R.; **Automação industrial**, CENTEC – CENTRO DE ENSINO DE TECNOLOGIAS, 2013.
- SOUZA, J. A. M. F.; **Automação Industrial e Robótica**, Notas de aula, p. 65, 2009.
- MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Portaria nº 2.037 de dez. 1999. **Normas regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho (NR -22): segurança e saúde ocupacional na mineração (122.0004)**. Brasília, 1999. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/temas/segsau/legislacao/normas/conteudo/nr22>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2016.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Portaria nº 3.214 de jul. 1978. **Normas regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho (NR15): atividades e operações insalubres** (115.0006). Brasília, 1978. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/temas/segsau/legislacao/normas/conteudo/nr15>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Portaria nº 36, de 16 de jan. 2015. **Normas Reguladoras de Mineração – NRM 06 – Ventilação**. Brasília, 1999. Disponível em: http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/nrm_06.htm. Acesso em: 12 de fevereiro de 2016.