

JULIANA GRACIETTI DE OLIVEIRA

**CONTROLE DE EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM
SISTEMAS DE BRITAGEM**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção de grau de
Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade Federal da
Fronteira sul.

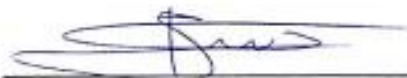
Orientador: Prof. Me. Marlon Luiz Neves da Silva

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e
aprovado pela banca em: 04 / 12 / 14

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Marlon Luiz Neves da Silva – UFFS



Prof. Dr. Fernando Grison – UFFS



Prof. M^e. Guilherme Martinez Mibielli - UFFS

CONTROLE DE EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO EM SISTEMAS DE BRITAGEM.

Juliana Gracietti de Oliveira¹
Marlon Luiz Neves da Silva²
Leda Battestin Quast³

RESUMO

A exploração e o beneficiamento de bens minerais estão entre as atividades que mais geram impactos ambientais, principalmente pela emissão de poluentes na atmosfera, danos à saúde e ao bem estar da população. Em meio a isso, este trabalho tem como objetivo principal dimensionar um ciclone acoplado a um filtro manga, para que estes possam mitigar as emissões de material particulado na fonte. Através de uma revisão bibliográfica pode-se identificar os principais poluentes associados a esta atividade, assim como os parâmetros necessários para realizar o dimensionamento. Sendo assim, os resultados encontrados demonstraram que com a implantação deste sistema a emissão reduz de 449,96 kg.h⁻¹ na entrada do ciclone para 67,49 kg.h⁻¹ na saída, chegando a sair do filtro manga com 0,675 kg.h⁻¹, cerca de 1% da emissão que entra no filtro manga. No entanto, esta eficiência depende de vários fatores, entre eles a operação dos equipamentos, o tipo de tecido utilizado e a limpeza das mangas do filtro. Logo, como o sistema foi dimensionado para alcançar uma alta eficiência, a literatura recomenda que sejam utilizadas mangas de poliéster, tendo em vista que, o mesmo possui uma alta durabilidade e boa resistência a abrasão, alcalinidade e acidez. Além do mais, a limpeza deve ser realizada através de fluxo reverso, visto que é a mais eficiente. Porém, seria necessário ainda determinar o tamanho das partículas geradas na atividade e a eficiência fracionada do material particulado para comprovar na prática a eficiência real do sistema.

PALAVRAS-CHAVES: Emissões atmosféricas. Material particulado. Basalto. Ciclone. Filtro de manga.

1-INTRODUÇÃO

A mineração é um dos setores básicos da economia do país, que contribui de forma decisiva para o bem estar e a melhoria da qualidade de vida das presentes e futuras gerações, sendo fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade equânime, desde que operada com responsabilidade social, estando sempre presentes os preceitos do desenvolvimento sustentável (FARIAS, 2002).

No entanto, a atividade de exploração e beneficiamento de bens minerais está entre as que mais geram impactos ambientais, principalmente pela emissão de poluentes na atmosfera, danos à saúde e ao bem estar da população.

De acordo com Cançado *et al.* (2006), a poluição atmosférica pode ser definida como a presença de substâncias estranhas na atmosfera, proveniente de atividades humanas potencialmente poluidoras ou também de processos naturais, em concentrações suficientes para interferir direta ou indiretamente na saúde, segurança e bem estar dos seres vivos.

A Resolução N° 003 de 28 de junho de 1990 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), trata poluente atmosférico como qualquer forma de matéria ou energia com

intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tomem ou possam tomar o ar como: impróprio, nocivo ou ofensivo a saúde; inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudiciais à segurança e gozo da propriedade e às atividades normais a comunidade.

Em meio a isso, vem sendo criadas leis que regulamentam as atividades potencialmente poluidoras, tornando-as mecanismos de formulação e aplicação do direito, além de estabelecerem critérios e padrões de qualidade ambiental (SIQUEIRA, 2001).

Uma vez que, existe uma ampla gama de substâncias pode poluir o ar. Sendo que, as mais reconhecidas como sendo alvo de medidas de controle são monóxido de carbono, dióxido de enxofre, as substâncias orgânicas tóxicas, material particulado, os óxidos de nitrogênio e os compostos orgânicos voláteis (SPIRO;STIGLIANI, 2009).

2-MATERIAL PARTICULADO

Material particulado se refere a todas as coisas emitidas na forma de um condensado como sólidos pequenos ou partículas líquidas que estão suspensas no ar e que geralmente são invisíveis a olho nu. A maioria dos processos industriais são fontes de material particulado incluindo metal, produção mineral, petróleo e indústria química (FLAGAN;SEINFELD, 2012; BAIRD;CANN, 2011).

2.1-Classificação dos poluentes

Os poluentes podem ser classificados conforme a sua origem, como poluentes primários ou poluentes secundários. Em função do seu estado físico, podendo estar dissolvido na atmosfera na forma de gases ou vapores, ou apresentando-se nos estados líquido e sólido. E por último segundo a classe química que pertencem, ou seja, orgânicos e inorgânicos (MAGALHÃES, 2005; ALMEIDA, 1999).

2.2-Tamanho das partículas

Para Baird e Cann (2012), o diâmetro do material particulado é a sua propriedade mais importante. Qualitativamente, são classificados como grossos e finos, dependendo do diâmetro ser maior ou menor que 2,5 μm , como mostra a Figura 01. A nomenclatura das partículas é definida segundo o seu tamanho e estado físico. A Figura 02 relaciona representa a nomenclatura utilizada para cada diâmetro de partícula.

FIGURA 01: FRAÇÕES DE MATERIAL PARTICULADO
FONTE: ENVIRONMENT CANADÁ (S.D.), COM ADAPTAÇÕES.

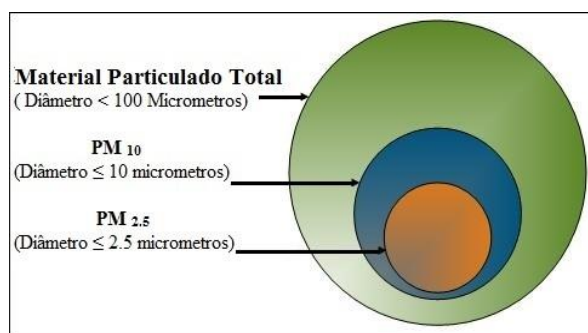
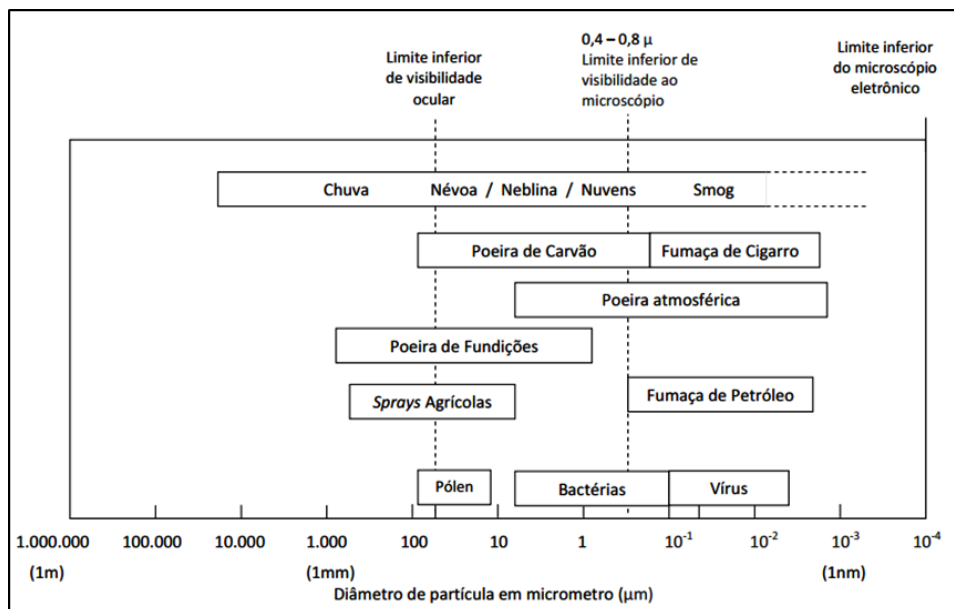


FIGURA 02:TAMANHO DE PARTÍCULAS COMUNS FINAS E GROSSAS.

FONTE: BAIRD (2011), COM ADAPTAÇÕES.



Conforme observado na Figura 02 as partículas são classificadas conforme o seu diâmetro, a partir disso a United States Environmental Protection Agency-US EPA dividiu as partículas em duas categorias as partículas finas ou respiráveis ($MP_{2,5}$), com diâmetro inferior a $2,5 \mu\text{m}$, e partículas inaláveis grossas (MP_{10}) com diâmetro entre $2,5$ e $10 \mu\text{m}$. Algumas das partículas MP_{10} podem ser vistas a olho nu, já as partículas $MP_{2,5}$ só podem ser vistas com o uso do microscópio eletrônico, como mostrado na Figura 03.

2.3-Principais fontes de material particulado

De acordo com Baird e Cann (2012) as principais partículas finas, diâmetro menor $2,5 \mu\text{m}$, são de origem antropogênica, através da combustão incompleta de combustíveis a base de carbono, como o carvão, o óleo, a gasolina e o diesel, além do uso de pneus, freios e a poeira oriunda da fundição de metais. No entanto, segundo Caçado *et al.*(2006) as partículas inaláveis grossas com diâmetro entre $2,5 \mu\text{m}$ e $10 \mu\text{m}$ são emitidas através da combustão descontrolada, dispersão mecânica do solo, ou outros materiais da crosta terrestre (pólen, esporos e materiais biológicos).Na Tabela 01 são apresentadas as fontes naturais e antropogênica das partículas MP_{10} e $MP_{2,5}$.

TABELA 01: FONTES NATURAIS E ANTROPOGÊNICA DE MATERIAL PARTICULADO.

FONTE: BELO (2011) APUD CEPA (1999).

		Fontes naturais		Fontes Antropogênicas	
		Primária	Secundária	Primária	Secundária
MP _{2,5}	Queimadas (Carbono Elementar e carbono Orgânico)	Carbono Orgânico a partir de compostos orgânicos voláteis (COV); Nitrato a partir de óxido de nitrogênio (NO _x) natural.	Combustão de combustíveis fósseis (Carbono elementar e Carbono Orgânico); Combustão de madeira (Carbono elementar e Carbono Orgânico)	Carbono orgânico a partir de fontes Antropogênicas de COV (automóveis processos industriais); Sulfatos e Nitratos a partir de fontes antropogênica de óxido de enxofre (SO _x) e (NO _x) (automóveis, termelétricas, etc.)	
	Poeira, Spray de sal marinho, Pólen e Esporos;	--	Poeira Mineral de industriais de Mineração e de extração; Poeira de rodovias e construções;	--	

A Tabela 02 apresenta um comparativo entre os tipos de formação, tempo de residência e distâncias percorridas pelas partículas conforme o seu tamanho.

TABELA 02:COMPARATIVO SEGUNDO O TAMANHO DAS PARTÍCULAS.

FONTE: WILSON E SUH (1997), COM ADAPTAÇÕES.

Tamanho	PARTÍCULAS MENORES QUE 0,1 µm	MODA DE ACUMULAÇÃO (0,1 e 2,5 µm)	MODA DAS PARTÍCULAS GROSSAS (2,5 e 10 µm)
Formação	Nucleação Condensação Coagulação	Condensação Coagulação	Atrito mecânico Evaporação de “sprays” Suspensão de poeira
Tempo de Residência	Minutos a horas	Dias a semanas	Minutos a horas
Distâncias Percorridas - Suspensão no ar	Menos que um a dezenas de km	Centenas a milhares de km	Menos que um até dezenas de km

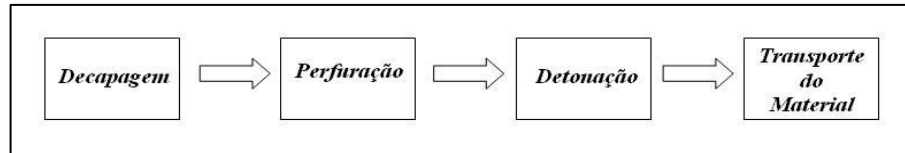
2.2-Sistemas de britagem

A mineração de agregados para a construção civil junto às áreas urbanizadas fornece matérias-primas para a execução e manutenção das atividades urbanas, no entanto, esta atividade gera impactos ambientais que prejudicam principalmente a qualidade do ar. O Material Particulado origina-se desagregação mecânica, detonação, perfuração, desmonte, escavação, carregamento, transporte e descarga de rochas, bem como por ação do vento nos processos de desmonte e de cominuição (RODRIGUES *et al.*, 2005; SOUZA *et al.*,2012).

Macintyre (2011) destaca que, a emissão de partículas nas pedreiras, nas escavações para mineração e abertura de túneis ocorre em duas fases: o primeiro acontece na lavra na perfuração da rocha e o segundo no beneficiamento da pedra. A Figura 03 apresenta as etapas do processo de extração do basalto.

FIGURA 03: FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO BASALTO.

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR. 2014

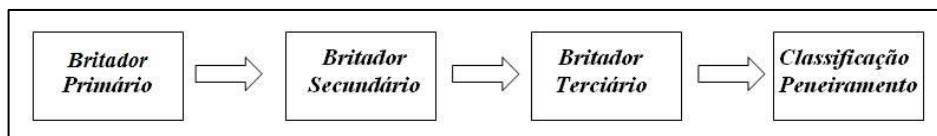


Luz (2010) comenta que, um mineral não pode ser utilizado tal como é lavrado. Para isso, o mineral passa pelo processo de britagem, o qual caracteriza-se como um dos estágios do processamento de minérios. Nesta etapa, faz-se uso de equipamentos apropriados para a redução de tamanho da matéria prima.

Entretanto, não existe um circuito padrão para britar os diferentes tipos de minérios, geralmente a operação é adequada às situações convenientes. Segundo o mesmo autor, a fragmentação de um mineral desenvolve-se em três estágios: a britagem primária, secundária e terciária, além dos processos de moagem e classificação. O britador primário opera em circuito aberto e sem o descarte dos finos contidos na alimentação. O britador secundário por sua vez, reduz a granulometria do material, além de eliminar a fração fina do material. O britador terciário, em geral, é o último estágio da britagem, o qual está ligado às características de fragmentação do material, além da granulometria do produto final. A classificação e o peneiramento é caracterizada como o último estágio da fragmentação. A Figura 04 exemplifica o processo de britagem.

FIGURA 04: FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DO BENEFICIAMENTO DO BASALTO.

FONTE: ELABORADO PELO AUTOR.



Neste trabalho especificamente será dado ênfase para ao beneficiamento do basalto, o qual, pertence à categoria das rochas ígneas, formadas pelo resfriamento e solidificação do magma, constituídas principalmente por óxidos de silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, sódio e potássio. A composição química aproximada do basalto é de 43 a 47% de SiO₂, 11 a 13% de Al₂O₃, 10 a 12% de CaO e 8 a 10% de MgO, além de outros óxidos que estão presentes em percentagens inferiores a 5%. A principal vantagem dos materiais produzidos à base de basalto está nas propriedades termofísicas, mecânicas e na alta resistência à corrosão. (SCHIAVON *et al*, 2006).

Do processo de beneficiamento e peneiramento da rocha origina diversos tamanhos de brita, denominados conforme a Tabela 03.

TABELA 03: DIMENSÕES DAS FRAÇÕES DE ROCHAS.

FONTE: RELATÓRIO TÉCNICO-MME (2009), COM ADAPTAÇÕES.

TIPO DE ROCHA	DIMENSÃO (mm)
Gabião	100 a 150
Brita 5	76 a 100
Brita 4	50 a 76
Brita 3	25 a 50
Brita 2	9,5 a 19
Brita 1	9,5 a 19
Brita 0	4,8 a 9,5
Pó de Pedra	0 a 5
Areia de Brita	< 0,074

Conforme Rocha (2010), para controlar as emissões atmosféricas lançadas pelo setor industrial a Resolução Conama nº 382/2006 estabelece a fixação de limites por poluentes e por tipo de fontes, além da consideração da capacidade de suporte da atmosfera. Para isso as indústrias devem instalar sistemas que façam a limpeza destes gases, antes de eles serem lançados na atmosfera.

Segundo Coutinho (2013) as partículas começam a ser geradas na pedreira e posteriormente no britador onde em geral possuem concentrações mais elevadas. No entanto, neste trabalho será dada maior relevância ao Material Particulado gerado somente no britador. No processo de beneficiamento da rocha, as emissões já começam ocorrer no descarregamento da rocha para alimentação do britador primário e conseqüentemente no britador secundário e terciário. Tendo em vista que estes equipamentos operam por atrito para alcançar a granulometria desejada. Além dos britadores, a moagem caracteriza-se como um importante ponto de lançamento de particulados, seguida do peneiramento e da classificação granulométrica comercial, realizada por peneiras vibratórias. Como todos estes processos, são realizados a céu aberto, a maioria das partículas geradas se deposita no solo ou ficam suspensas na atmosfera por horas, espalhando-se por extensas áreas.

Em face disso, uma das principais formas de conter estas emissões seria através da instalação de um sistema capaz de reter estas partículas, além de filtrar os gases emitidos para a atmosfera. Portanto, a solução proposta seria a implantação de um modelo composto primeiramente por um ciclone, para coletar as partículas de maior granulometria, em seguida, direcioná-las para um filtro de manga, para a retenção das partículas menores denominadas inaláveis.

2.3 Ciclone e Filtro Manga.

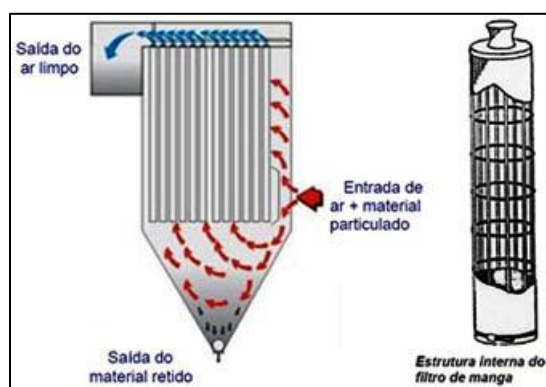
Para selecionar um equipamento adequado para o tratamento de Material Particulado, é preciso primeiramente se conhecer o estado físico do poluente e verificar a eficiência de coleta do particulado, para enquadrar as emissões aos padrões permitidos pela legislação. Essa eficiência de coleta é dependente das dimensões das partículas presentes no fluido a ser tratado para todos os tipos de coletores. O autor também comenta que existem alguns fatores envolvidos na hora da escolha do equipamento para controle de poluição, entre eles estão: caracterização do problema, possíveis soluções, aspectos econômicos de cada alternativa e custos analisados (TAVARES, 2013).

Dentre todos os equipamentos existentes, os filtros de tecidos, ou mais conhecido como filtro de manga são amplamente utilizados no combate à poluição atmosférica causado pela dispersão de Material Particulado no ar que se originam em diversos processos industriais, dentre eles a mineração. O principal motivo da elevada utilização deste tipo de filtro se dá pelo custo relativamente baixo de implantação, sua facilidade de operação e também pela sua alta eficiência na remoção de uma faixa granulométrica de Material Particulado. (RODRIGUES, 2004).

O filtro manga é composto por uma carcaça, dois bocais para entrada e saída do fluido (situado nas laterais do filtro), um Cell-Plate (ponto de apoio das mangas no filtro) e várias gaiolas de sustentação das mangas. O mesmo autor ainda cita que, o funcionamento do filtro se dá pela passagem do fluido, carregado de Material Particulado, através de uma manga porosa. A Figura 05 apresenta o funcionamento do filtro manga. (TAVARES, 2013).

FIGURA 05: PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UM FILTRO MANGA.

FONTE: SERVITECH.



A posterior deposição das partículas no meio filtrante ocorre à formação de uma camada de Material Particulado denominada torta de filtração. Esse processo é contínuo e com o passar do tempo a espessura da torta de filtração aumenta, reduzindo consequentemente a pressão devido ao aumento da eficiência de coleta e da resistência ao fluxo de ar (ROCHA, 2010).

Segundo Macintyre (2011), a eficiência dos filtros de tecido supera 93%, chegando até a 99% em alguns casos. No entanto, para que essa eficiência seja mantida é necessário que seja feita a limpeza destes filtros, que pode ser realizada por agitação ou raspagem das mangas manual ou mecanicamente, após a interrupção da passagem de ar, além da introdução de ar comprimido em sentido contrário, sistema denominado de fluxo reverso.

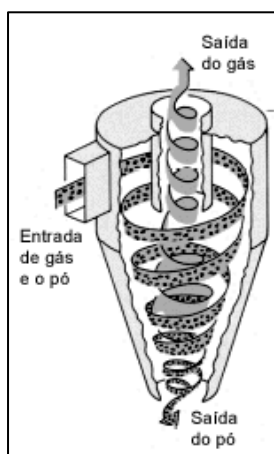
O mesmo autor ressalta ainda que os filtros de tecidos podem apresentar-se sob a forma de sacos, de mangas, de painéis lisos, e de painéis ondulados. Os materiais comumente usados na fabricação dos filtros de tecidos são o algodão e a lã, porém estes materiais só podem ser utilizados em temperaturas entre 82 a 90° C e para ar seco. No entanto, para temperaturas maiores e poluentes mais agressivos é necessário utilizar tecidos mais resistentes, ou seja, com fios de náilon, poliéster, polipropileno, fibra de vidro e entre outros.

Por outro lado, o ciclone é um equipamento muito utilizado para recuperação do Material Particulado nos processos e separação de partículas sólidas presentes num fluxo gasoso. O fluido move-se no interior do ciclone em uma trajetória de dupla hélice. Através do movimento circulatório cria-se um vórtice descendente entre o orifício superior e o corpo do ciclone, estendendo-se até a base do coletor. Este movimento circulatório ou helicoidal faz

com que a força centrífuga aplicada às partículas seja maior que as forças de coesão molecular e da gravidade. A partir disso, partículas presentes nas correntes gasosas deslocam-se até as paredes do equipamento, devido à ação da força centrífuga, o que faz com que as mesmas percam velocidade por atrito. O atrito faz com que as partículas escorreguem pelas paredes do equipamento até serem coletadas por um recipiente no orifício inferior como pode ser observado na Figura 06 (LACERDA, 2007; MACINTYRE, 2011).

FIGURA 06: PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DE UM CICLONE.

FONTE: SOLER E PALAU (2006), COM ADAPTAÇÕES.



Se construídos com materiais adequados, os ciclones podem ser dimensionados para operar em condições extremas como em altas pressões, altas temperaturas e gases corrosivos, atingindo uma eficiência de 85%. Porém, existem alguns fatores que influenciam na eficiência do equipamento, como o tamanho, densidade e forma da partícula, condições de operacionais, as propriedades físicas do material sólido alimentado, a geometria do ciclone e a velocidade de entrada (SILVA, 2006; LORA, 2000 *apud* HANLY & PETRONKA, 1993).

Chaves (2002) destaca algumas vantagens em se utilizar ciclones ao invés de outros equipamentos. Para o autor o equipamento possui capacidade elevada em termos de volume ou área ocupada, além de possui maior facilidade no controle operacional, é de fácil manutenção e possui baixo custo de instalação. No entanto, o ciclone possui algumas desvantagens em relação à retenção de finos. Razão pela qual, Jacomino (2002), sugere a instalação de ciclones para a retenção das partículas com dimensões maiores que 10 mm e filtro Manga ou Precipitador Eletrostático, para coletar as partículas menores que 10 mm, já que, segundo o autor o filtro manga é altamente eficiente para qualquer faixa de diâmetro.

3-MATERIAIS E MÉTODOS

A escolha do equipamento está relacionada com o tipo de emissão. Como visto anteriormente grande parte das emissões oriundas de sistemas de britagem é identificada como particulados os quais apresentam um diâmetro que varia de 2,5 μm a 100 μm .

Em face disso, foi dimensionado um sistema de captação composto de um ciclone acoplado a um filtro manga. Tendo em vista que, o ciclone tem como principal foco as partículas maiores que $10\mu\text{m}$, o filtro manga tem como objetivo a retenção das partículas entre $10\mu\text{m}$ e $0,05\mu\text{m}$ ou inaláveis que não são captadas pelo ciclone.

Devido à falta de condições para realizar a coleta dos dados a campo, utilizaram-se parâmetros obtidos na literatura para dimensionar os equipamentos. Considerou-se um fluido gasoso contínuo e um fluido sólido disperso representando o Material Particulado e com temperatura de $115\text{ }^\circ\text{C}$. Segundo (Damian *et al.* 2004) e consulta em empresa fabricante, a vazão de entrada usual para a atividade é $40.000\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ com uma concentração de $1,25\text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ de pó. De acordo com Lisboa (2010), a velocidade de entrada do ciclone varia de 6 a $21\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, ciclones de alta eficiência são dimensionados para operar com uma velocidade de entrada acima de $15\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, sendo assim, adotou-se $15\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ como velocidade de entrada. Já, quanto à eficiência de remoção do ciclone adotou-se 85%, como já citado anteriormente.

Para o dimensionamento do ciclone utilizam-se geralmente relações geométricas conhecidas, como a do ciclone de entrada tangencial desenvolvida por Lapple, Stairmand e Swift (LISBOA,2010). No entanto, para o cálculo da área de entrada e do diâmetro deste projeto utilizou-se as relações geométricas de Lapple dadas na Tabela 04 e mostradas na Figura 07, após a determinação do diâmetro dado pela fórmula 1.

$$A = (\text{altura de entrada}) \times (\text{largura de entrada}) \quad (1)$$

$$A = 0,25 D \times 0,5 D$$

$$A = 0,125 D^2 \quad (2)$$

Onde, A é a área de entrada do ciclone e D é o diâmetro do corpo do ciclone.

FIGURA 07: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM CICLONE.

FONTE: FABIÃO (2010). COM ADAPTAÇÕES.

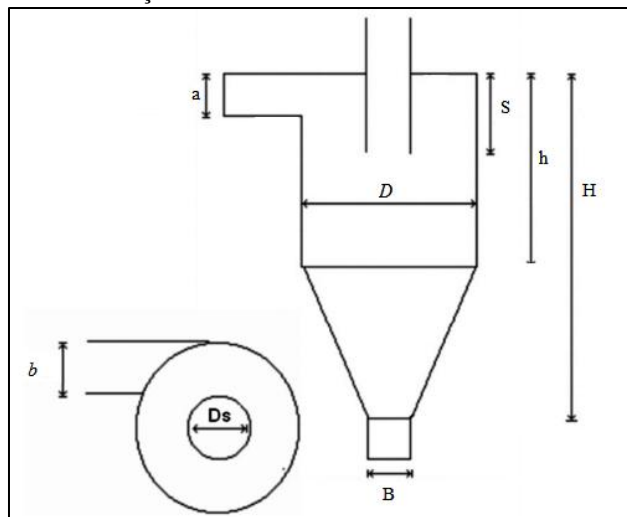


TABELA 04:RELAÇÕES GEOMÉTRICAS DO CICLONE SEGUNDO LAPPLE.
 FONTE: FABIÃO (2010). COM ADAPTAÇÕES.

Elemento Característico	Símbolo	Lapple
Diâmetro do Corpo Cilíndrico	D	1,0
Altura de Entrada	A	0,5 D
Largura da Entrada	b	0,25 D
Profundidade do duto de saída	S	0,625 D
Diâmetro do duto de saída	Ds	0,5 D
Altura do Corpo Cilíndrico	h	2,0 D
Altura Total	H	4,0 D
Diâmetro do Duto de Descarga do pó	B	0,25 D

Sendo assim será possível calcular a emissão sem controle:

$$E_1 = Q \times C_i \quad (3)$$

E com controle:

$$E_2 = E_1 \times (1 - \eta_t) \quad (4)$$

Onde, E_1 é a emissão final sem controle; E_2 é a emissão final com controle; Q é a vazão de gás na entrada do ciclone; C_i é a concentração inicial do gás e η_t é a eficiência do equipamento.

Lisboa (2010) destaca que, o dimensionamento de equipamentos de controle tipo filtro de tecido envolve basicamente a escolha do tipo de filtro a ser utilizado, a escolha do sistema de limpeza, o meio filtrante a ser utilizado e o dimensionamento da área de filtração necessária.

Após a escolha da velocidade de filtração será calculada a área total de uma manga através da fórmula descrita abaixo.

$$A \text{ (Total)} = A \text{ (Lateral)} + A \text{ (Base)} \quad (5)$$

$$A \text{ (Total)} = 2\pi r h + \pi r^2$$

A área filtrante é calculada por:

$$A \text{ (Filtrante)} = Q_{\text{gás}} / V_f \quad (6)$$

Onde, $Q_{\text{gás}}$ é a vazão inicial do gás e V_f é a velocidade de filtração.

E assim calcula-se o número de mangas a serem instaladas no filtro pela equação:

$$\text{Número de Mangas} = A (\text{Filtrante}) / A (\text{Total}) \quad (7)$$

Por fim, será dada a emissão final do sistema:

$$E_{\text{final}} = E_{\text{ciclone}} \times (1 - \eta_{\text{Filtro Manga}}) \quad (8)$$

4-RESULTADOS

4.1-Dimensionamento do ciclone

Calculando-se a área de entrada do ciclone (A_1), dividindo a vazão dos gases (Q) pela velocidade do gás (v):

$$A = Q/v$$

Transformando a vazão em ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) tem-se $11,11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Logo, a área correspondente a entrada do ciclone é:

$$A = 11,11 (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) / 15 (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

$$A = 0,74 \text{ m}^2$$

Através das dimensões do ciclone estabelecidas por Lapple na Tabela 5, pode-se calcular o diâmetro do equipamento, por meio da equação 1 e 2. Isolando o diâmetro (D_c), tem-se:

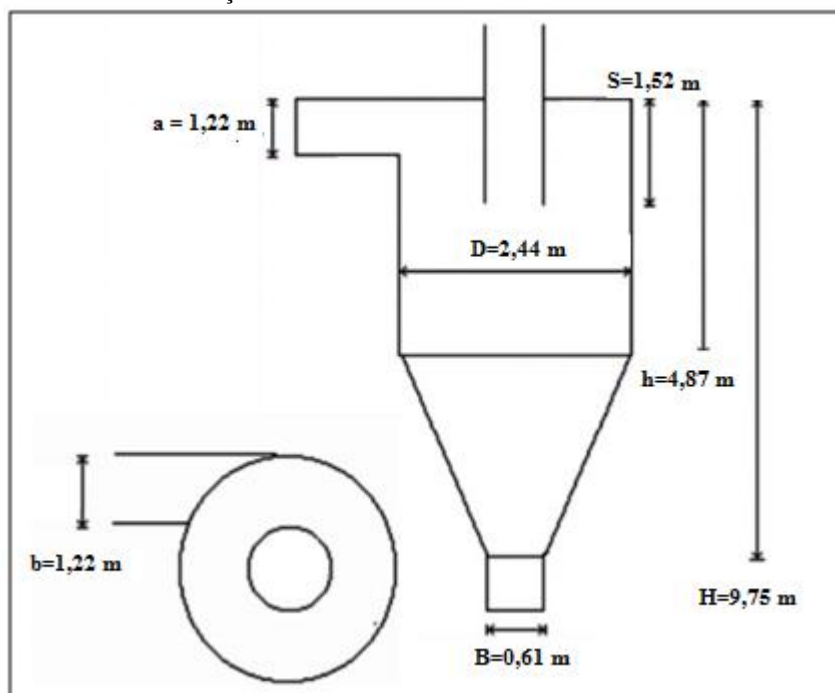
$$D_c = \sqrt[3]{(A_1/0,125)}$$

$$D_c = \sqrt[3]{(0,741/0,125)}$$

$$D_c = 2,43 \text{ m}$$

Logo, o ciclone terá as dimensões apresentados na Figura 08.

FIGURA 08: REPRESENTAÇÃO DAS DIMENSÕES DE UM CICLONE TANGENCIAL.



Por fim, calculou-se a Emissão 1 (E_1) e a Emissão 2 (E_2). A E_1 sem nenhum controle foi calculada multiplicando-se a vazão de entrada (Q) pela concentração de entrada (C_i). Transformando-se a concentração de ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) para ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), tem-se $0,01 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

$$E_i = Q \times C_i$$

$$E_1 = 11,11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \times 0,01125 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 36000 \text{ s}$$

$$E_1 = 449,96 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

Já, para calcular a emissão com controle utilizou-se a emissão 1 (E_1) e a eficiência esperada do equipamento, que neste trabalho foi adotado 85% para o ciclone.

$$E_2 = E_1 \times (1 - \eta_t)$$

$$E_2 = 449,96 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \times (1 - 0,85)$$

$$E_2 = 67,49 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

4.2-Dimensionamento do Filtro Manga

Para dimensionar o filtro de manga adotou-se para cada manga um diâmetro (ϕ) de 0,16 m e altura (h) de 3,9 m. Além do mais, adotou-se também uma velocidade de filtração de $5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ (TANABE,2008 *apud* LEITH E ALLEN,1986).

Primeiramente calculou-se a área total de uma manga através da equação 5.

$$A (\text{Total}) = (2 \cdot \pi \cdot 0,08 \cdot 3,9) + [\pi \cdot (0,08)^2]$$

$$A \text{ (Total)} = 1,98 \text{ m}^2 \text{ por manga}$$

Em seguida, pela equação 6 a área filtrante total.

$$\text{Área Filtrante} = 11,11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / 0,05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Área Filtrante} = 222,22 \text{ m}^2$$

Para descobrir o total de mangas necessárias basta dividir a área filtrante pela área total de cada manga como já mostrado na equação 7.

$$\text{N}^\circ \text{ de mangas} = 222,22 \text{ m}^2 / 1,98 \text{ m}^2 \text{ por manga}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de mangas} = 112,23 \text{ mangas} \cong 113 \text{ mangas}$$

Considerando que o filtro manga receberá a emissão excedente do ciclone, ou seja, $E_2 = 67,49 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ e que o equipamento possui uma eficiência em torno de 99%, a emissão final do sistema será de:

$$E_3 = E_2 \times (1 - \eta_t)$$

$$E_3 = 67,49 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \times (1 - 0,99)$$

$$E_3 = 0,68 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

De posse dos parâmetros utilizados na confecção do filtro, resta saber ainda qual o tipo de tecido que será utilizado nas mangas.

Segundo comparações feitas na literatura, o poliéster mostrou-se o tecido mais adequado para ser empregados em atividades como mineração, cimento, siderúrgicas, madeiras, cerâmicas, asbesto, britagem, plásticos e pigmentos, todos em condições secas até 150 °C. Tendo em vista que, possui uma durabilidade três vezes maior que o algodão, além de possuir uma boa resistência á ácidos, alcalinidade e abrasão (MACINTYRE, 2013; RENNER TÊXTIL LTDA, 2001).

De acordo com Macintyre (2013) e Tanabe (2008) a limpeza do filtro por fluxo de ar reverso é a mais eficiente, tendo em vista que, o processo consiste na injeção de ar comprimido ou até mesmo um ventilador que produza um fluxo de ar no sentido inverso ao da filtração. O pó removido pelo jato fino de ar através do cano cai no interior das mangas e é removido pela parte inferior da captação. A velocidade de passagem de ar pelo pano é de 5 metros por minuto e leva cerca de 2 a 5 minutos para ser concluída.

5-CONCLUSÃO

O controle de emissões atmosféricas na mineração é um desafio crescente. Uma vez que a legislação está cada vez mais restritiva quanto os limites toleráveis de emissão. Para isso, a configuração do sistema de filtração proposto tem foco à garantia do investimento pela elevada eficiência na coleta dos particulados.

O ciclone é utilizado geralmente como pré-coletor. Para dimensioná-lo foram utilizadas as relação desenvolvida por Lapple. Com a adição do ciclone para coleta do

Material Particulado, a concentração de emissão caiu de $449,96 \text{ kg.h}^{-1}$ para $67,49 \text{ kg.h}^{-1}$ uma redução de 85%, restando apenas 15% do total de Material Particulado gerado. Além de reter partículas maiores o ciclone permite que essas partículas retornem ao processo de britagem. No entanto, quando adicionamos o filtro de manga posterior ao ciclone, há uma redução de 99% do total a ser emitido, isso significa que serão emitidos para atmosfera 1% de $67,49 \text{ kg.h}^{-1}$ ou seja, $0,675 \text{ kg.h}^{-1}$.

Além do mais, o dimensionamento proposto corresponde à vazão de $40.000 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, no entanto, caso haja o dimensionamento do sistema de exaustão pode ocorrer alterações nos parâmetros devido à perda de carga que passará a ser considerada. As mangas do filtro serão constituídas por poliéster, devida sua alta durabilidade e boa resistência a abrasão, alcalinidade e acidez e a limpeza de tais será efetuada por fluxo de ar reverso, visto que, a mesma possui uma eficiência elevada.

Contudo, seria necessário ainda determinar o tamanho das partículas geradas na atividade e a eficiência fracionada do material particulado para comprovar na prática a eficiência real do sistema.

EMISSION CONTROL PARTICULATE MATTER IN CRUSHING SYSTEMS.

KEYWORDS: Atmospheric emissions. Particulate matter. Basalt. Cyclone. Bag filter.

ABSTRACT

The exploration and processing of minerals are among the activities that will generate environmental impacts, mainly by emission of pollutants in the atmosphere, damage to health and well being of the population. Through it, this work has as a main objective to dimension a cyclone attached to a sleeve filter, so that they can mitigate the emissions of particulate matter in the source. Through a literature review can identify the main pollutants associated with this activity, as well as the parameters required to perform the design. Therefore, the results demonstrated that with the implementation of this system reduces the emission of 449.96 kg.h^{-1} in the cyclone inlet to 67.49 kg.h^{-1} at the exit, coming out of the filter sleeve with $0,675 \text{ kg.h}^{-1}$, approximately 1% of the emissions entering the sleeve filter. However, this efficiency depends on several factors, including the operation of the equipment, the type of fabric used and the cleaning of the filter sleeves. As soon as the system has been designed to achieve high efficiency, the literature recommends polyester sleeves for use, in order that the same has a high durability and good resistance to abrasion, alkalinity and acidity. Furthermore, cleaning must be carried out by reverse flow, since it is the most efficient. However, it is also necessary to determine the size of the particles generated in the fractional activity and efficiency of the particulate matter in practice to prove the actual efficiency of the system.

6-REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ivo.Torres. Poluição Atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto. (Dissertação de Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1999. Disponível em: Acesso em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-31012002-170628/>. php. Acesso em: 20 maio 2014.

BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844 p.

BBC. Science. **Static electricity**. 2014. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/add_aqa_pre_2011/electricity/staticelectr ev2.shtml>. Acesso em: 13 jun. 2014.

BELO, Pedro Ivo Diógenes. **QUANTIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE PARTÍCULAS FINAS (MP_{2,5}) NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA**. 2011. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011. Disponível em: <[http://www.ct.ufes.br/dea/files/QUANTIFICAÇÃO DOS NÍVEIS DE PARTÍCULAS FINAS \(MP_{2,5}\) NO MUNICÍPIO DE VITÓRIA.pdf](http://www.ct.ufes.br/dea/files/QUANTIFICAÇÃO%20DOS%20NÍVEIS%20DE%20PARTÍCULAS%20FINAS%20(MP2,5)%20NO%20MUNICÍPIO%20DE%20VITÓRIA.pdf)>. Acesso em: 29 abr. 2014.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral / Ministério Sumário Mineral Thiers Muniz Lima , Carlos Augusto Ramos Neves – Brasília : DNPM/DIPLAM, 2012. Disponível em:< https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7298 >. Acesso em: 06 maio 2014.de Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, coordenação

BRASIL. Luiz Felipe Quaresma. Ministério de Minas e Energia. **PROJETO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA AO SETOR DE ENERGIA**. Brasília: Sine Nomine, 2009. 30 p. Disponível em: <<http://simineral.org.br/arquivos/PerfildebritaparaconstruocivilPlanoNacionaldeMinerao2030MME.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2014.

BRASIL. Resolução Conama nº 003, de 28 de junho de 1990. Brasília, DF, Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html>>. Acesso em: 10 maio 2014.

BRASIL. Resolução Conama nº 005, de 15 de junho de 1989. Brasília, DF, Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res89/res0589.html> >. Acesso em: 11 maio 2014.

BRASIL. Resolução Conama nº 008, de 06 de dezembro de 1990. Brasília, DF, Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0890.html>>. Acesso em: 11 maio 2014.

BRASIL.Politica Nacional do Meio Ambiente,lei Federal nº 6.938 de 31 de agosto de 1931, Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/category/36-p?download=1053%3A1-6.938-81>>. Acesso: em 22 de Abr. 2014.

CANÇADO, José Eduardo Delfini et al. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica: Clinical repercussions of exposure to atmospheric pollution. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**. São Paulo, maio 2006. p. 5-11. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/jbpneu/v32s2/a02v32s2.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2014.

CHAVES, Arthur Pinto. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. 2. ed. São Paulo: Signus, 2002. 267 p. Disponível em: <<http://www.passeidireto.com/arquivo/1025426/chaves--teoria-e-pratica-do-tratamento-de-minerios-volume-1>>. Acesso em: 30 abr. 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO-CETESB. Ar. Qualidade do ar. Informações Básicas. Poluentes. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa??es-B?sicas/21-Poluentes>>. Acesso em: 10 Abr. 2014.

COUTINHO, Marina de Miranda. **USO DE MEDIDAS BIOLÓGICAS NA MITIGAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL DA MINERAÇÃO DE BRITA NO ESTADO DO RJ**. 2013. 35 f. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013. Disponível em: <http://www.ufrrj.br/institutos/if/lmbh/pdf/mono_disset_tese/mono_disset_tese65.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2014.

DAMIAN, Ricardo Barbosa et al. DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FILTRAGEM COMPACTO PARA USINAS DE ASFALTO. **Abcm**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 254, p.209-215, nov. 2004. Disponível em: <http://www.abcm.org.br/pt/wp-content/anais/encit/2004/artigos/symp_energy/CIT04-0254.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (Brasil). Portaria nº 237 de 18 de outubro de 2001. Disponível em: <www.diariodasleis.com.br/busca/exibmlink.php?numlink=1-60-29-2001-10-18-237>. Acesso em: 10 jun. 2014.

ENVIRONMENT CANADA. Pollution and Waste. Pollutants. National Pollutant Release Inventory. Reporting to the NPRI. Annual Guidance Documents. NPRI Reporting Guide. Disponível em: <http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=En&n=4A7B6493-1#F_7>. Acesso em: 28 Abr. 2014.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. Extramural. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 30 Mar. 2014.

FABIÃO, Priscila de Nunes. **ANÁLISE EXPERIMENTAL E NUMÉRICA DO ESCOAMENTO MULTIFÁSICO GÁS-SÓLIDO EM CICLONES**. 2010. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2010. Disponível em: <http://proxy.furb.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=694>. Acesso em: 27 jun. 2014.

FARIAS Carlos Eugênio Gomes. **MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE NO BRASIL**. Sine Soco: Sine Nomine, 2002. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo011_02.pdf>. Acesso em: 07 maio 2014.

FLAGAN, Richard C.; SEINFELD, John H. **Fundamentals of Air Pollution Engineering**. New York: Dover Publications Inc, 2012. 562 p.

JACOMINO, Vanusa Maria Feliciano; RIBEIRO, Eduardo Delano Leite; CASTRO, Luiz Fernando Andrade de. SELEÇÃO DE PADRÕES DE EMISSÃO ATMOSFÉRICA. UM ESTUDO DE CASO PARA AS PEQUENAS E MÉDIAS EMPRESAS PRODUTORAS DE FERRO-GUSA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, v. 7, n. 3, p.112-116, dez. 2002. Disponível em: <<http://www.abesdn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v7n34/v7n34n03.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2014.

LACERDA, Aderjane Ferreira. **Estudo dos efeitos das variáveis geométricas no desempenho de ciclones convencionais e filtrantes**. 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007. Disponível em: <<http://penelope.dr.ufu.br/handle/123456789/589>>. Acesso em: 20 maio 2014.

LEZAR, Carlos Algreto. **Ventilação Industrial**. 2. ed. Florianópolis: Loyola, 2009. 244 p.

LISBOA, Henrique de Melo. **Controle de Poluição Atmosférica**. Florianópolis: Ens/ufsc, 2010. Disponível em: <http://www.lcqar.ufsc.br/aula_livro.php>. Acesso em: 27 jun. 2014.

Luiz Felipe Quaresma (Comp.). **Relatório Técnico 30**. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://simineral.org.br/arquivos/PerfildebritaparaconstruocivilPlanoNacionaldeMinerao2030MME.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2014.

LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina A.. **Tratamento de Minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: Cetem, 2010. 965 p. Disponível em: <<http://livroaberto.ibict.br/handle/1/949>>. Acesso em: 15 maio 2014.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2011. 403 p.

MAGALHÃES, Lucas Carlúcio. **Estudo do Material Particulado Atmosférico e Metais Associados às partículas**. 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2222>>. Acesso em: 24 maio 2014.

RENNER TÊXTIL. Manual Técnico de Fibras. 2. ed., Cachoeirinha: Renner Têxtil, 2001. Disponível em: <http://www.rennertextil.com.br/rennertextil/teste_layout/Boletins%20Tecnicos%20Renner%20Textil/CATALOGO-RENNER-FILTRACAO2-2011.pdf>. Acesso em: 24 maio 2014.

ROCHA, Sandra Mara Santana. **Estudo da Influência da velocidade e dos ciclos de filtração na formação da torta na limpeza de gases em filtros de manga**. 2010. 143 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010. Disponível em: <http://www.bdtd.ufu.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3078>. Acesso em: 20 maio 2014.

RODRIGUES, Antonio Carlos Marques. **Estudo de Formação e Remoção de tortas de filtração de Gases em filtros de tecidos de Polipropileno e de Algodão.** 2004. 123 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004. Disponível em:

<http://www.bdtd.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado/tde_arquivos/10/TDE-2004-12-13T14:53:27Z-341/Publico/DissACMR.pdf>. Acesso em: 20 maio 2014.

RODRIGUES, Gilson Lucio et al. Estudo comparativo entre as poeiras respiráveis de basalto e gnaisse na produção de brita nas regiões de Londrina e Curitiba, no estado do Paraná, e sua influência para os trabalhadores. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v. 30, n. 112, p.37-47, jul. 2005. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/rbso/v30n112/05.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2014.

SCHIAVON, Marco. Antônio.; REDONDO, Simone. Ungari. Azzolino. and YOSHIDA, Inez. Valeria. Pagotto. **Caracterização térmica e morfológica de fibras contínuas de basalto.** Cerâmica, São Paulo, vol.53, n.326, pp. 212-217, jun. 2007. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/ce/v53n326/17.pdf>>. Acesso em :02 maio 2014.

SILVA, Marcela Kotsuka da. **Estudo de Modelagem Numérica Tridimensional de Ciclones do Tipo Lapple para Separação Gás-Sólido.** 2006. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/89536>>. Acesso em: 22 maio 2014.

SIQUEIRA, Tagores. Villarim. Desenvolvimento Sustentável: Antecedentes Históricos e Propostas para a Agenda 21. Revista do BNDS, Rio de Janeiro, V. 8, N. 15, P. 247-288, JUN. 2001 Disponível em:<

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4214/BNDES_Desenvolvimento-sustent%C3%A1vel-antecedentes-e-propostas-para-a-Agenda-21.pdf?sequence=1>. Acesso em: 12 abr. 2014.

Soler e Palau Soluções Inovadoras. Disponível em:

<http://www.solerpalau.pt/formacion_01_37.html#top>. Acesso em: 15 maio 2014.

SOUZA, Wendel Rodrigues; CUNHA, Pedro Vitor Pastana; PAIVA, Reginaldo Sabóia. CONTROLE MATERIAL PARTICULADO NOS ACESSOS DE MINA À CÉU ABERTO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MINA A CÉU ABERTO, 7., 2012, Sine Loco. **Trabalhos Técnicos.** Belo Horizonte, 2012. Disponível em:

<http://www.cbmina.org.br/media/palestra_7/T57.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2014.

SPIRO, Thomas G.; STIGLIANI, William M.. **Química Ambiental.** 2. ed. São Paulo: Pearson, 2009. 334 p.

TANABE, Eduardo Hiromitsu. **Estudo do comportamento da deposição das partículas de diferentes meios filtrantes.** 2008. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008. Disponível em:

<http://www.bdtd.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1951>. Acesso em: 06 nov. 2014.

TAVARES, Leandro Vitorino. **FILTRAÇÃO DE GASES A ALTAS TEMPERATURAS**. 2013. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013. Disponível em: <[ftp://ftp.feq.ufu.br/Curso_Eng_Quimica/Monografias - Projetos de Graduação/2012/Leandro Vitorino Tavares - Filtração de gases a altas temperaturas/Projeto de Graduação.pdf](ftp://ftp.feq.ufu.br/Curso_Eng_Quimica/Monografias_-_Projetos_de_Graduacao/2012/Leandro_Vitorino_Tavares_-_Filtracao_de_gases_a_altas_temperaturas/Projeto_de_Graduacao.pdf)>. Acesso em: 22 maio 2014.

WILSON, William E.; SUH, Helen H.. Fine particles and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies. **Air & Waste Management Association**. Sine Loco, p. 1238-1249. mar. 2012. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10473289.1997.10464074#.U5eXMfldUuc>>. Acesso em: 12 maio 2014.