

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA E SEGURANÇA DO
TRABALHO

JOÃO VITOR APOLINARIO FERREIRA

LAVADORES DE GASES NA INDÚSTRIAS: UMA BREVE REVISÃO SOBRE OS
IMPACTOS DA SUA UTILIZAÇÃO NO CONTROLE DA POLUIÇÃO
ATMOSFÉRICA, ATENDIMENTO A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E SAÚDE
HUMANA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

PONTA GROSSA

2018

JOÃO VITOR APOLINARIO FERREIRA

**LAVADORES DE GASES NA INDÚSTRIAS: UMA BREVE REVISÃO
SOBRE OS IMPACTOS DA SUA UTILIZAÇÃO NO CONTROLE DA
POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, ATENDIMENTO A LEGISLAÇÃO
AMBIENTAL E SAÚDE HUMANA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia e Segurança do Trabalho, Área de Conhecimento: Higiene e Segurança do Trabalho, do Curso de Especialização em Engenharia e Segurança do Trabalho, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Luiz Eduardo Melo Lima

PONTA GROSSA

2018



FOLHA DE APROVAÇÃO

Título do artigo nº. 11/2018

LAVADORES DE GASES NA INDÚSTRIAS: UMA BREVE REVISÃO SOBRE OS IMPACTOS DA SUA UTILIZAÇÃO NO CONTROLE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, ATENDIMENTO A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E SAÚDE HUMANA

Desenvolvido por:
João Vitor Apolinario Ferreira

Este artigo foi apresentado no dia 30 de agosto de 2018 às 14 horas como requisito parcial para a obtenção do título de ESPECIALISTA EM ENGENHARIA E SEGURANÇA DO TRABALHO. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo citados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof Ariel Orlei Michaloski
1º membro

Prof Antonio Carlos Frasson
2º membro

Prof. Luiz Eduardo Melo Lima
Orientador

LAVADORES DE GASES NAS INDÚSTRIAS: UMA BREVE REVISÃO SOBRE OS IMPACTOS DA SUA UTILIZAÇÃO NO CONTROLE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA, ATENDIMENTO À LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E SAÚDE HUMANA

João Vitor Apolinário Ferreira¹
Luiz Eduardo Melo Lima²

Resumo: As atividades industriais são tradicionalmente reconhecidas como ações potencialmente degradadoras do meio ambiente devido ao fato de, entre diversas adversidades, serem fontes geradoras de poluentes atmosféricos. No atual cenário político e econômico nacional, onde as empresas apresentam cada vez maiores dificuldades de investimentos em melhorias operacionais e muitas vezes pressionadas por uma Legislação Ambiental cada vez mais restritiva incidindo sob suas atividades, o objetivo desde trabalho foi realizar uma breve revisão da utilização de um equipamento - de baixo custo, compacto, fácil construção, manutenção e operação - para o controle da poluição e a redução de gases e, principalmente, material particulado oriundos dos mais diversos processos industriais. O princípio de funcionamento do equipamento proposto consiste em coletar as emissões atmosféricas e direcionar o seu fluxo através de uma torre de lavagem aquosa vertical, sendo este equipamento comumente denominado de lavador de gases. Existem vários tipos e modelos de lavadores, mas o presente trabalho aborda a operação do Lavador do tipo Torre de Spray ou Torre de Atomização. As conclusões apresentadas demonstram que o uso deste dispositivo pode reduzir sensivelmente as taxas e concentrações dos poluentes atmosféricos e que o mesmo pode ser largamente utilizado como um equipamento eficiente e com excelente custo-benefício no controle das emissões atmosféricas e atendimento à Legislação Ambiental.

Palavras-chave: emissões atmosféricas. lavador de gases. torre de spray. qualidade do ar. controle de material particulado.

Abstract: Industrial activities are traditionally recognized as actions potentially degrading the environment due to the fact that, among several adversities, they are sources that generate atmospheric pollutants. In the current national political and economic scenario, where companies are increasingly struggling to invest in operational improvements and often under pressure from increasingly restrictive Environmental Legislation, their objective has been to undertake a brief review of the use of an equipment - low cost, compact, easy to construct, maintenance and operation - for the control of pollution and reduction of gases and, mainly, particulate material from the most diverse industrial processes. The operating principle of the proposed equipment consists of collecting the atmospheric emissions and directing their flow through a vertical water washing tower, this equipment being commonly known as a gas scrubber. There are several types and models of washer, but the present work addresses the operation of the Spray Tower or Spray Tower type washer. The conclusions presented demonstrate that the use of this device can significantly reduce the rates and concentrations of air pollutants and that it can be widely used as an efficient and cost effective

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR-PG

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR-PG

equipment in the control of atmospheric emissions and compliance with Environmental Legislation.

Keywords: *atmospheric emissions. gas scrubber. spray tower. air quality. control of particulate matter.*

INTRODUÇÃO

A demanda de energia e a existência de inúmeros processos de transformação da matéria-prima, face aos avanços tecnológicos e às necessidades crescentes da sociedade, apresentou um aumento expressivo e inimaginável no consumo energético e de bens materiais desde a Revolução Industrial, iniciada no século XVIII. Diante desse cenário, cresce a preocupação em todo o mundo com os impactos ambientais causados por essas atividades, sendo, a emissão de gases poluentes para a atmosfera, i.e a poluição atmosférica, um dos principais fatores de preocupação mundial e causas do desequilíbrio natural.

Aliado à necessidade do crescente uso de energia térmica para utilização nas suas mais variadas formas em processos industriais, também destacam-se o aumento gradativo e a quantidade de Leis, Normativas e Legislações Ambientais, impostas pelos Órgãos de Controle Ambiental de cada região, que devem ser atendidas para garantir a operação daquele determinado empreendimento através da concessão de uma Licença de Operação. Neste contexto, tornam-se cada vez mais presentes o surgimento de Condicionantes de Operação e, entre essas condicionantes, encontram-se o atendimento à limites e níveis de emissões máximos para determinados parâmetros ambientais, sendo no caso deste trabalho, avaliados a emissão de Material Particulado Total e Gases Poluentes oriundos das chaminés das empresas.

É nesse contexto e diante de um cenário político e econômico nacional extremamente turbulento, onde as empresas estão passando por um extenso período de falta de capacidade de investimentos financeiros - sejam estes em pessoas, processos e/ou estrutural -, que surgem os equipamentos de limpeza de gases úmidos, como os Lavadores de Gases (*Wet Scrubbers*, em inglês), como uma opção viável técnica-economicamente para o controle da poluição

ambiental capazes de reduzir à emissão destes poluentes à níveis aceitáveis e dentro dos padrões e limites estabelecidos.

POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Almança et. al. (2008) afirma que a poluição atmosférica é uma questão complexa, pois as bacias aéreas não respeitam limites geográficos e nem são fixas, impossibilitando sua delimitação, além de gerar efeitos na fauna e na flora de toda uma região. Em relação à saúde, pode agravar doenças já existentes e até levar à morte, como, por exemplo, gerar em uma pessoa efeitos crônicos que prejudicam o organismo aos poucos, após longo período de exposição (DOCKERY et al., 1992; POPE et al., 1992; SALDIVA et al., 1995; SCHWARTZ et al., 1996; CONCEIÇÃO et al., 2001; POPE et al., 2002), podendo ainda prejudicar o desenvolvimento dos bebês, durante a fase de gestação (PEREIRA et al., 2000, MEDEIROS e GOUVEIA, 2005).

Conceitualmente, a atmosfera é definida como a camada prevalentemente gasosa que envolve a Terra onde ocorrem reações químicas e se processam mudanças climáticas, seja por causa naturais, ou, eventualmente, intervenções antrópicas. Ela absorve uma variedade de sólidos, gases e líquidos provenientes de fontes naturais e industriais, que podem se dispersar, reagir entre si ou com outras substâncias já presentes na atmosfera.

A poluição do ar, portanto, pode ser definida como a introdução na atmosfera de qualquer matéria ou energia que venha a alterar as propriedades desse ar, afetando, ou podendo afetar, a “saúde” das espécies animais ou vegetais, que dependem ou tenham contato com essa atmosfera; ou mesmo, que venham a provocar modificações físico-químicas nas espécies minerais que tenham contato com ela.

Qualquer equipamento, processo, máquina ou sistemas podem emitir ou liberar matéria ou energia para atmosfera, podendo ser considerado, desta forma, uma fonte de poluição. As indústrias são reconhecidamente grandes fontes fixas de poluição atmosférica, responsáveis pela emissão de gases e líquidos tóxicos, assim como partículas sólidas nocivos à saúde humana e ao meio ambiente.

De acordo com a Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) Nº 436/2011, emissão é o lançamento na atmosfera de qualquer forma: sólida, líquida ou gasosa. As instalações, processos químicos, máquinas e equipamentos, liberam matéria e energia para o meio ambiente através das chamadas emissões pontuais e/ou fugitivas. A primeira ocorre quando uma fonte provida de dispositivo para dirigir ou controlar (chaminé ou duto) as emissões lançam estes poluentes para a atmosfera. Já, a emissão fugitiva, surge da situação oposta, quando a emissão não provém de uma fonte responsável por direcionar seu fluxo, como, por exemplo, da ineficiência de um equipamento ou má vedação na tubulação ou em esteiras de transporte resultam em vazamentos e espalhamento do material de forma aleatória para o meio ambiente.

POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A quantidade e qualidade dos poluentes atmosféricos emitidos por fontes industriais dependem de vários fatores relacionados à fabricação e aos processos desenvolvidos. As matérias-primas, os combustíveis utilizados, a eficiência operacional, os processos físico-químicos utilizados na fabricação do produto final e o grau de medidas de controle de emissões são somente alguns exemplos dos fatores que influem diretamente no tipo e concentração do poluente expelido.

A Tabela 01 sintetiza os principais poluentes, suas fontes, processos de emissão e efeitos ambientais e sanitários. De forma geral, o monitoramento da qualidade do ar no Brasil, abarca os poluentes e demais compostos listados, sendo os que estão marcados com (*) apresentam padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONANA 436/2011:

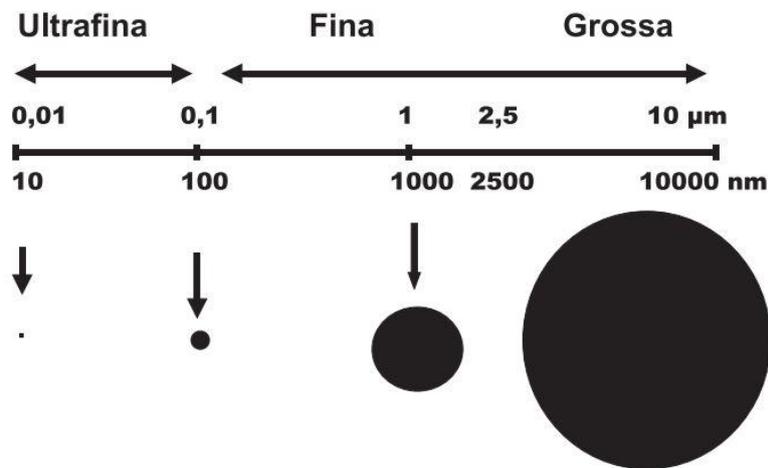
Tabela 01 - Poluentes atmosféricos usualmente considerados no monitoramento da qualidade do ar

Poluentes	Fontes	Processos típicos	Efeitos
Óxidos de Enxofre (SOx)*	Antropogênicas Naturais	Combustão (veículos e indústrias) Vulcanismo, processos biológicos	Afeta sistema respiratório, chuva ácida e danos materiais
Óxidos de Nitrogênio (NOx)*	Antropogênicas Naturais	Combustão (veículos e indústrias)	Afeta sistema respiratório e chuva ácida
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	Antropogênicas	Evaporação de combustíveis e solventes	Poluição fotoquímica, compostos carcinogênicos
Monóxido de Carbono (CO)*	Antropogênicas Naturais	Combustão (veículos e indústrias) Emissões da vegetação	Reduz a capacidade de transporte de oxigênio no sangue
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Antropogênicas Naturais	Combustão (veículos e indústrias) Queimadas (fogos florestais)	Efeito estufa
Metais pesados	Antropogênicas	Incineração de resíduos, combustíveis, processos industriais	Tóxico acumulativo. Anemia e destruição tecido cerebral
Partículas sólidas (PM ₁₀ , PM _{2,5})* Partículas Totais em Suspensão (PTS)* Poeiras e Fumaças Negras (FMC)*	Antropogênicas Naturais	Combustão (veículos e indústrias), processos industriais, extração de minerais Erosão eólica, vulcanismo	Alergias, infecções e doenças graves no aparelho respiratório. Vetor de outros poluentes (metais pesados, compostos orgânicos)

Fonte: Boubel et. al. (1994)

De acordo com Arbex et al. (2004), o material particulado é constituído em seu maior percentual (94%) por partículas finas e ultrafinas (Figura 1), ou seja, que apresentam diâmetros aerodinâmicos menores que 2,5 µm ($PM_{2,5}$). Já, as partículas maiores, 2,5 ($PM_{2,5}$) < d_p < 10 µm (PM_{10}) ficam retidas no nariz, na faringe/laringe, ou na traquéia, enquanto as partículas menores podem chegar aos pulmões e sedimentar nos alvéolos e na região traqueobronquial (HINDS, 1982, *apud* LIMA, 2007). Este tipo de material sólido ou líquido fica suspenso no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça e fuligem. Suas principais fontes são os processos de combustão (industrial ou de veículos automotivos) e os advindos de fontes naturais (como as queimadas).

Figura 02 - Classificação das partículas: grossas, finas e ultrafinas



Fonte: Arbex et al. (2004)

Entre os efeitos mais tradicionais e nocivos à saúde humana, decorrentes da exposição por longos períodos a este poluente, têm sido o desenvolvimento de infecções respiratórias agudas, doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), pneumoconiose, catarata e cegueira, tuberculose pulmonar e efeitos adversos na gestação.

Os poluentes podem ser classificados como poluentes primários ou secundários. Os primários são emitidos diretamente através de uma chaminé ou outra fonte específica utilizada com objetivo de lançar estes contaminantes para a atmosfera. Já os secundários, também chamados de poluentes de área, são formados quando os poluentes primários lançados à atmosfera reagem entre si ou com os elementos presentes no ar. Por exemplo, óxidos de enxofre (SO_x) e de nitrogênio (NO_x) podem reagir com outros elementos químicos para formar substâncias muito nocivas, como o ácido sulfúrico (H₂SO₄).

Por serem extremamente prejudiciais para a saúde, bem-estar da população e na melhoria da qualidade de vida e do meio ambiente, a preocupação dos Órgãos de Controle Ambiental em relação à qualidade do ar vem aumentando, e, conseqüentemente, as normas e leis ambientais também,

tornando-se cada vez mais rígidas no estabelecimento dos limites e padrões para essas emissões.

A Constituição Federal Brasileira de 1988, em seu artigo 225, estabelece que toda população tem o direito de viver em um ambiente ecologicamente equilibrado, caracterizando como crime toda ação lesiva ao meio ambiente, determinando a exigência de que todas as Unidades da Federação (UF) tenham reservas biológicas ou parques nacionais e que todas as atividades potencialmente poluidoras apresentem estudos sobre os danos e impactos que suas atividades podem causar ao meio ambiente e à saúde humana.

Assim, com o intuito de controlar a emissão de partículas para a atmosfera e proteger o meio ambiente em nível nacional, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) edita normas administrativas relacionadas à poluição do ar. A Resolução CONAMA Nº 436/2011, estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas e reforça a necessidade de implantação da aplicação de medidas de controle da poluição atmosférica por meio do uso de equipamentos de controle do tipo “fim de tubo” ou da utilização de processos menos poluentes, motivada principalmente pela atual disponibilidade e acesso das empresas à tecnologia de redução das emissões para inúmeros processos produtivos. Sendo assim, restam às indústrias se adequarem a estas normas de melhorias estabelecidas, com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico do seu negócio e atuar de forma ambientalmente correta e legal perante à lei.

EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR (ECP)

As empresas, sobretudo as grandes multinacionais, estão conscientes da necessidade de adotarem práticas constantes de gestão e controle ambiental e, via de regra, caminham num sentido comum de ampliação de seus investimentos destinados à proteção do meio ambiente. Não obstante, a grande maioria, representadas pelas pequenas e médias empresas nacionais, vem enfrentando sérias dificuldades na relação com os órgãos ambientais face à necessidade de se cumprir tantas exigências, ao ponto de tornar inviável a

manutenção da operação daquela indústria, devido aos altos custos de operação, no local onde ela está instalada.

A muitas décadas iniciaram-se os estudos a respeito de medidas que pudessem minimizar ou solucionar os problemas e impactos ambientais causados pela emissão de poluentes atmosféricos oriundos de fontes fixas industriais. Assim, convencionalmente adotou-se uma forma de classificar essas medidas entre ações indiretas e diretas.

As ações indiretas caracterizam-se pela tentativa de impedir ou, ao menos, diminuir a geração de determinado poluente. O princípio básico da redução na fonte é que aquilo que não entra num processo, não pode sair como poluente, e que tudo que for utilizado de forma excessiva é desperdício e saíra, de alguma forma, como resíduo no final. Assim, para eliminar ou abater a geração de poluentes por meio de ações na fonte geradora, pode-se utilizar ações como a substituição de matérias-primas e reagentes, mudanças no processo, controle rígido dos parâmetros operacionais da atividade produtiva juntamente com aplicação de boas práticas de manutenção de instalações e equipamentos, alteração de combustíveis, melhorias nas práticas operacionais, diluição do poluente através do prolongamento das chaminés/dutos, entre outras diversas opções de manejo operacional.

Já, as ações diretas ou de caráter corretivo, foco principal deste trabalho, visam à adequação das emissões atmosféricas às exigências dos padrões legais, mediante a implantação de Equipamentos de Controle de Poluição do Ar (ECP), diretamente nos pontos de saída das fontes geradoras. Tais equipamentos funcionam de forma semelhante a “filtros”, retirando das emissões parte dos contaminantes presentes, tornando-as relativamente limpas. Em outras palavras, esses equipamentos retiram parte dos poluentes do meio gasoso, normalmente transferindo-os para um outro meio, sólido ou líquido. O principal problema com as ações diretas é que elas não resolvem o problema da poluição, mas somente o transferem de um meio para o outro (FERNANDES, 2003).

Os ECP's são usualmente classificados tanto em função das características físico-químicas dos poluentes a que se destinam quanto em

função dos mecanismos de controle (sedimentação gravitacional, impactação, interceptação, difusão, forças eletrostáticas e centrípetas, termoforese, entre outros) envolvidos em sua operação e do uso ou não de água (ou outro líquido) na ação de controle.

Os equipamentos para o controle de particulados consistem de coletores que operam a seco e outros que utilizam líquidos. Assim, para a seleção de um sistema de remoção desses poluentes de uma corrente gasosa, muitas considerações a respeito dos equipamentos podem ser feitas, como o custo de implantação e operação (expresso em \$/ano.m³), queda de pressão do gás, eficiência de remoção, temperatura, resistência, etc. A Tabela 02 apresenta alguns dos equipamentos mais comumente utilizados na indústria para controle da poluição ambiental e sintetiza as características principais de cada um deles.

Tabela 02 - Comparação entre os Equipamentos de Controle de Poluição Atmosférica (ECP)

Tipo de Equipamento	Variação Diâmetro da Partícula (µm)	Eficiência de Remoção	Espaço requerido	Temp. Máx. de Operação (°C)	Queda de pressão (cmH₂O)	Custo Anual* (\$/ano.m³)
Filtro de Mangas (algodão)	0,1 - 0,1 1,0 - 10 10,0 - 50,0	Razoável Bom Excelente	Ampla	80	10	28,00
Filtro de Mangas (nylon)	0,1 - 0,1 1,0 - 10 10,0 - 50,0	Razoável Bom Excelente	Ampla	120	12	34,00
Filtro de Mangas (fibra de vidro)	0,1 - 0,1 1,0 - 10 10,0 - 50,0	Razoável Bom Bom	Ampla	290	10	42,00
Filtro de Mangas (teflon)	0,1 - 0,1 1,0 - 10 10,0 - 50,0	Razoável Bom Excelente	Ampla	260	20	46,00
Precipitador Eletrostático	0,1 - 0,1 1,0 - 10 10,0 - 50,0	Excelente Excelente Bom	Ampla	400	1	42,00
Ciclones	0,1 - 0,1 1,0 - 10 10,0 - 50,0	Ruim Ruim Bom	Ampla	400	10	16,00
Lavador de Gases (Torre de Spray)	0,1 - 0,1 1,0 - 10 10,0 - 50,0	Razoável Bom Bom	Ampla	540	5	25 - 56,00
Lavador de Gases (Venturi)	0,1 - 0,1 1,0 - 10 10,0 - 50,0	Bom Excelente Excelente	Pequeno	540	88	112,00

Fonte: Cheremisinoff (2002)

Uma vez que os sistemas de controle são equipamentos de operação contínua juntamente com os processos produtivos, sua operação e manutenção tornam-se a maior preocupação após a sua instalação. Dessa forma, alguns motivos para o estabelecimento de um programa eficiente manutenção e operação são a necessidade contínua de manter as emissões dentro dos padrões legais, prolongar a vida útil do equipamento, manter a eficiência produtiva dos processos atendidos pelo dispositivo de controle, reduzir os custos de operação, promover uma melhor convivência com a vizinhança e com os Órgãos de Controle Ambiental.

LAVADORES DE GASES

De acordo com Gama (2008), o Lavador de Gás é um dispositivo empregado no controle da poluição atmosférica, na recuperação de materiais, no resfriamento e na adição de líquido ou vapor nas correntes gasosas. Tem o seu princípio de funcionamento baseado na coleta de partículas sólidas presentes em um fluxo de gás através do contato direto com um líquido atomizado, geralmente a água. Ainda, segundo EPA (2002), estes equipamentos removem de forma eficiente tanto o material particulado, numa larga faixa granulométrica, quanto gases, contribuindo para a redução da densidade colorimétrica de determinada emissão. Além disso, são geralmente compactos e de construção simples.

Esses lavadores removem o pó indesejável do fluxo gasoso através da atomização de um jato líquido e baseiam-se em forças eletrostáticas e inerciais para a coleta do particulado, podendo ser projetados para atender às aplicações específicas dentro de determinado processo. O principal objetivo desses equipamentos é gerar uma boa distribuição do líquido atomizado para que aumente a probabilidade de choque entre as gotas e as partículas de pó. Os lavadores de gases são, em geral, o dispositivo de controle de poluição do ar mais adequado para coletar partículas e gás em um único sistema.

Quando se opta por trabalhar com um equipamento de controle de emissão de partículas via úmida, é importante considerar suas vantagens e desvantagens. Como vantagens de um lavador de gases, têm-se:

- Possibilidade de trabalhar com partículas inflamáveis e explosivas;
- Absorção de gás e coleta de partícula em uma única unidade;
- Resfriamento de gases quentes;
- Variação da eficiência de coleta;
- Neutralização de partículas e gases corrosivos;
- Manterias higroscópicas podem ser manuseadas sem dificuldades;
- Equipamentos de baixo custo inicial, fáceis instalação e manutenção e de geometria simples e compacta.

Já como desvantagens, estes coletores apresentam:

- Alto potencial para problemas de corrosão;
- Absorção de gás e coleta de partícula em uma única unidade;
- O particulado coletado pode ser contaminada e não reciclável;
- Requer proteção contra resfriamento e o gás de saída precisar de aquecimento para evitar foligem visível;
- Alto consumo de energia (devido às quedas de pressão do sistema)

Segundo a EPA (1978), os aspectos técnicos a serem considerados na escolha de um Lavador de Gases são vários. Dentre eles pode-se destacar os seguintes: características físico-químicas e granulométrica do material particulado a ser removido, concentração, temperatura, umidade e vazão dos poluentes na corrente de lavagem, queda de pressão e velocidade do gás, contato Líquido-Gás (L/G, expressos em $L_{\text{LÍQUIDO}}/m^3_{\text{GÁS}}$), sistema de distribuição e/ou pulverização de líquido, eficiência de remoção desejada e, por fim, o tempo de residência do poluente no interior do equipamento.

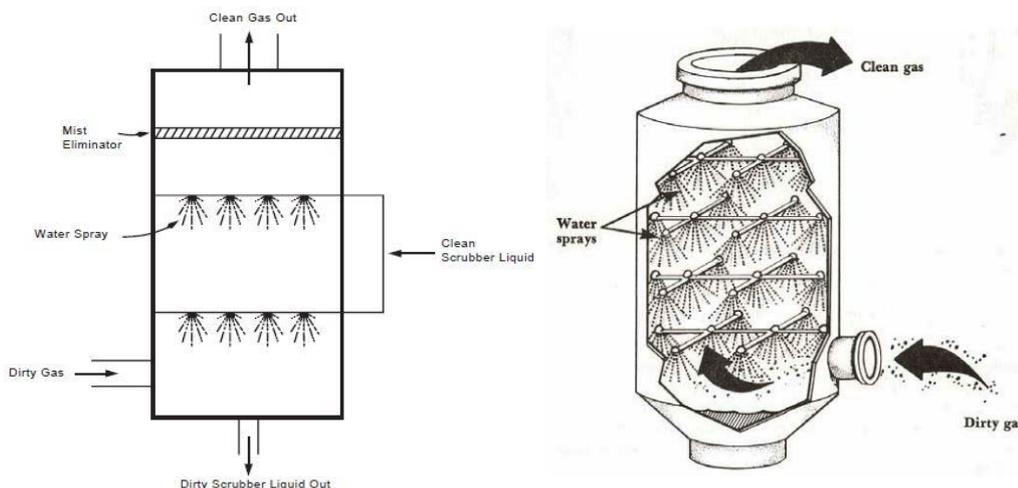
Os lavadores de gás estão caracterizados nos seguintes grupos: Torres de *spray*, Lavadores de Orifício, Lavadores Ciclônicos, Lavadores de Venturi e Lavadores de Leito Fibroso (FAYED e OTEEN, 1984 *apud* MARTINS COSTA 2002).

LAVADORES DO TIPO TORRE DE *SPRAY*

Em lavadores de gases, do tipo Torres de Spray, o fluxo de gás contendo partículas é introduzido em uma câmara (podendo ser esta vertical ou horizontal) onde entra em contato com gotículas líquidas geradas por bicos de pulverização. Estes lavadores são também conhecidos como lavadores de pulverização, uma vez que o líquido é formado em gotículas antes do contato com a corrente de gás. O tamanho dessas gotículas é controlado para maximizar o contato líquido-sólido e, conseqüentemente, a eficiência da coleta de poluentes. Um lavador de gases tipo torre de lavagem operando de forma otimizada é aquele que apresenta elevadas taxas de remoção de poluentes por área de lavagem disponível.

A Figura 02 demonstra um esquema construtivo de uma Torre de Spray Vertical, onde a corrente de gás contaminada entra pela parte inferior e a sua exaustão acontece pela parte superior da torre.

Figura 02 - Esquema de um Lavador de Gases do tipo Torre de *Spray*



Fonte: Bhargava (2016)

Segundo BHARGAVA (2016), as torres de spray ou também comumente denominadas de torres de pulverização, são de fácil construção e tem o menor custo de investimento em comparação aos outros tipos de Lavadores de Gases. Também, esse tipo de construção apresenta um menor consumo de energia elétrica para manter a sua operação e menor tendência ao aparecimento de

incrustações e entupimentos, redução ainda mais seu custo de operação. Esses custos aumentam à medida que essas Torres são projetadas para a captura de partículas menores de MP, uma vez que estes sistemas irão requerer uma maior relação Líquido-Gás, conseqüentemente, necessitando imprimir maiores vazões das correntes líquida e gasosa.

A poluição atmosférica e suas conseqüências estão muito presentes na realidade de qualquer local que possua grandes aglomerados urbanos ou a presença de indústrias. Dessa forma, o estudo da redução da emissão de poluentes para a atmosfera oriundos dos processos industriais mostra-se como uma importante ferramenta para o melhoramento da qualidade do ar, meio ambiente e do bem-estar humano, buscando aliar eficiência de processos, sustentabilidade e ao mesmo tempo redução de custos operacionais, o que justifica a realização desta pesquisa.

CONCLUSÃO

A necessidade de reduzir as taxas de emissão de poluentes atmosféricos no âmbito industrial, sejam estes sob a forma de material particulado ou substâncias líquidas ou gasosas, são uma realidade e as empresas precisam estar preparadas para atender às exigências impostas pelos Órgãos de Controle Ambiental para garantir a sua operação e, sobretudo, mostrar à sociedade que aquele empreendimento está funcionando dentro dos padrões legais, cujos parâmetros e referências procuram assegurar proteção à saúde, bem-estar da população e ao meio ambiente. As empresas que não procurarem se adequar a esta nova realidade, em curto prazo estarão com todo seu processo produtivo e atividades comprometidos, pois o não atendimento irá acarretar problemas de ordem legal - embargos, autuações, multas e fechamento -, redução de investimentos por parte de investidores, impossibilidade de obtenção de financiamentos através de instituições financeiras, insatisfação social, entre outros. Diante disso, é importante salientar que para atingir um nível satisfatório em termos de redução de impactos socioambientais causados pelas emissões atmosféricas é necessário possuir uma política de qualidade da empresa focada e interessada em todos os níveis

gerenciais e operacionais para trabalhar em prol da implantação de melhorias e no uso cada vez mais tecnologias limpas e de maior eficiência disponíveis no mercado, buscando aliar aumento de produção com responsabilidade socioambiental.

REFERÊNCIAS

- ALMANÇA, Nuria de Camargo Vilodres et al. **Poluição Atmosférica: Análise sobre as medidas de controle da poluição atmosférica e o sistema de informação do Parque Ibirapuera**. São Paulo: Senac, 2008. 14 p.
- ARBEX, Marcos Abdo et al. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. In: JORNAL BRASILEIRO DE PNEUMOLOGIA, 30., 2004, São Paulo. **Artigo de Revisão**. São Paulo: Faculdade de Medicina de Santo Amaro, 2004. p. 158 - 175.
- BHARGAVA, Akshey. **Wet Scrubbers - Design of Spray Tower to Control Air Pollutants**. *International Journal Of Environmental Planning And Development*. Hyderabad, India, p. 68-73. 25 jul. 2016
- BOUBEL, Richard W. et al. **Fundamentals of Air Pollution**. 3. ed. San Diego: Elsevier, 1994. 595 p.
- CETESB. **Relatório da Qualidade do Ar da cidade de São Paulo: 2007**. São Paulo, 2007.
- CHEREMISINOFF, Nicholas P.. **Handbook of Air Pollution Prevention and Control**. 3. ed. USA: Elsevier Science, 2002. 582 p.
- CONCEIÇÃO, G. M.; MIRAGLIA, S. G., KISHI, H. S.; SALDIVA, P. H.; SINGER, J. M. **Air pollution and child mortality: a time-series study in São Paulo, Brazil**. *Environ Health Perspect*.109 Supply 3:347-50 2001.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO 436/2011: Resolução N° 436, DE 22 DE DEZEMBRO DE 2011**. Brasília: MMA, 2011. 42 p.
- DOCKERY, D. W.; SCHWATZ, J.; SPENGLER, J. D. **Air pollution and daily mortality: associations with particulates and acid aerosols**. *Environ Res* 59:362-373, 1992.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA-600/8-78-005B: Particulate Control Highlights: Performance and Design Model for Scrubbers**. Washington: U.s. Environmental Protection Agency, 1978. 27 p.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA/452/B-02-001: Particulate Matter Controls: Wet Scrubbers for Particulate Matter**. Durham: EPA, 2002. 62 p.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA/452/B-02-001: SO₂ and Acid Gas Controls: Wet Scrubber for Acid Gas**. Research Triangle Park: Epa, 1995. 60 p.
- FERNANDES, Paulo Sérgio. **Gestão de Fontes Estacionárias de Poluição Atmosférica**. In: EMISSÕES Atmosféricas. São Paulo: 2003. Cap. 3. p. 181-286.

GAMA, Marcella Santos de Carvalho. **Estudo de um Sistema de Limpeza de Gases usando um Lavador Venturi de Seção Circular**. 2008. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Área de Particulados, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

LIMA, E.A.P (2007), **Um Estudo sobre a Qualidade do Ar de Uberlândia: Material Particulado em Suspensão**. Tese de doutorado, Uberlândia, Minas Gerais.

PEREIRA, L.A.A.; BRAGA, A.L.F.; CONCEIÇÃO, G.M.S.; NISHIOKA, D.C.; COURA, F.L.B.; LIN, C.A.; SALDIVA, P.H.N. *Association between air pollution and late fetal losses and neonatal mortality in São Paulo, Brazil*. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine** v.161, nº3, A310, 2000.

POPE, C. A. III; SCHWARTZ, J.; RANSOM, M. R. **Daily mortality and PM 10 pollution in Utah Valley**. Arch Environ Health 1992 47:211-217.

POPE, C. A. III., BURNETT, R. T.; THUN, M. J. *et al*. **Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution**. JAMA; 287: 1132–41, 2002.

SALDIVA, P. H. N.; POPE, C. A. III ; SCHWARTZ, J.; DOCKERY, D. W.; LICHTENFELS, A. J.; SALGE, J. M.; BARONE, I.; BOHM, G. M. **Air pollution and mortality in elderly people: a time-series study in Sao Paulo, Brazil**. Arch Environ Health. 1995 50(2):159-63.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **SEMA 016/2014: RESOLUÇÃO Nº 016/2014 - SEMA**. Curitiba: SEMA, 2014. 104 p.