



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE GRADUAÇÃO
ENGENHARIA MECÂNICA



ANTONIO SIQUEIRA NETO
CLAUDIO DE OLIVEIRA MARTINS JÚNIOR
HUGO DE ALMEIDA NEVES
LUCAS DE MELO SOARES

**ANÁLISE DO SISTEMA DE EXAUSTÃO DE UMA LINHA DE
DECAPAGEM ÁCIDA DE UMA SIDERÚRGICA**

VOLTA REDONDA

2020

ANTONIO SIQUEIRA NETO
CLAUDIO DE OLIVEIRA MARTINS JÚNIOR
HUGO DE ALMEIDA NEVES
LUCAS DE MELO SOARES

**ANÁLISE DO SISTEMA DE EXAUSTÃO DE UMA LINHA DE
DECAPAGEM ÁCIDA DE UMA SIDERÚRGICA**

Dissertação apresentada ao curso de ENGENHARIA MECÂNICA do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

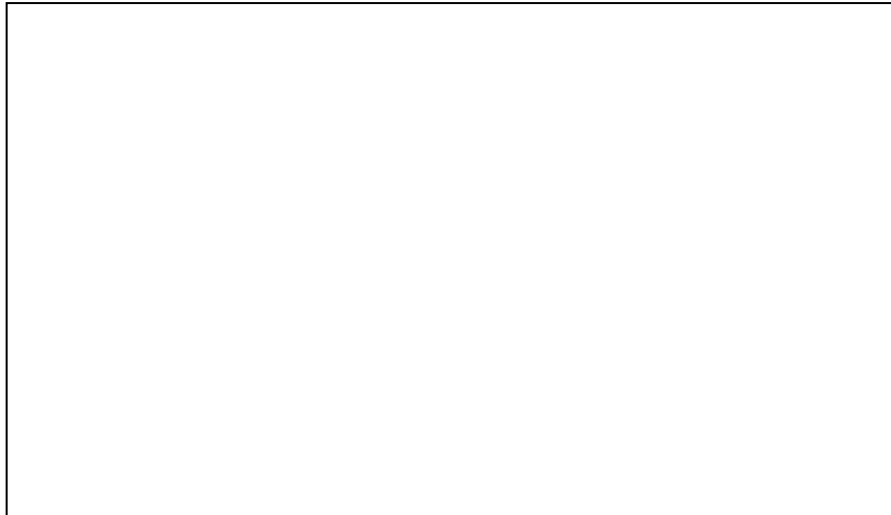
Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

VOLTA REDONDA

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

A large empty rectangular box with a thin black border, occupying the central portion of the page. It is currently blank, serving as a placeholder for a catalog entry or an image.



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
ENGENHARIA MECÂNICA



ANTONIO SIQUEIRA NETO

CLAUDIO DE OLIVEIRA MARTINS JÚNIOR

HUGO DE ALMEIDA NEVES

LUCAS DE MELO SOARES

Análise do sistema de exaustão de uma linha de decapagem ácida de uma
siderúrgica

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“ENGENHEIRO MECÂNICO”**

**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE ENGENHARIA
MECÂNICA**

Prof. MSc. Diniz Felix dos Santos
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. ALEXANDRE ALVARENGA PALMEIRA
1º Membro da banca/Orientador/UniFOA

Prof. Dr. ALEXANDRE FERNANDES HABIBE
2º Membro da banca/UniFOA

Prof. Dr. RUI AURELIO BARBOSA
3º Membro da banca/UniFOA

Outubro de 2020

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado primeiramente a DEUS por mais este sonho realizado. Dedicamos ainda a todos aqueles que de certa forma nos ajudaram ao longo de toda a nossa caminhada.

Aos nossos pais, familiares, amigos e professores.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por nos dar saúde, paciência, força de vontade e perseverança que foram cruciais para a conclusão desse trabalho, e nos permitir alcançar mais esse objetivo em nossas vidas. Agradecemos também aos nossos familiares, pela compreensão, paciência, apoio e confiança passada nos momentos difíceis. A todos os quais de forma direta, ou indireta fizeram parte de nossa caminhada.

NETO, A. S. JÚNIOR, C. O. M. NEVES, H. A. SOARES, L. M. **Análise do sistema de exaustão de uma linha de decapagem ácida de uma siderúrgica.** 2020. Dissertação (ENGENHARIA MECÂNICA) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2020.

RESUMO

A maioria dos processos industriais de decapagem ácida dispersa vapores ácidos para o ambiente e, conseqüentemente, causa sérios problemas à saúde humana e degradação aos recursos materiais. Em face desse problema, é necessário proporcionar um ar salubre no meio industrial da decapagem, de modo a garantir segurança, conforto e saúde em face da defesa dos trabalhadores e visitantes. Sistemas de ventilação local exaustora minimizam ou trazem um ar salubre para o ambiente, de modo que o contaminante esteja dentro dos limites toleráveis. O sistema de exaustão atua na captura do contaminante próximo à fonte, impedindo a emanação de gases, vapores, poeiras etc. para não prejudicar a saúde das pessoas. O estudo de caso desse trabalho visa a melhoria do sistema existente, que será realizada com a instalação de um novo ventilador com capacidade de vazão e pressão superior ao antigo sistema, dimensionado a partir dos valores de vazão requerida e da perda de carga encontrados na memória de cálculo, dados que foram coletados durante a visita técnica. A instalação do novo ventilador proporcionou a conservação das estruturas e dos equipamentos, ambiente salubre para os colaboradores da operação e da manutenção ou para qualquer pessoa que for visitar a decapagem ácida e eliminou os impactos ambientais.

Palavras-chave: eficiência, ventilação, exaustão, emanação.

NETO, A. S. JÚNIOR, C. O.M. NEVES, H. A. SOARES, L. M. **Analysis of the exhaust system of a pickling line at a steel company.** 2020. Dissertation (BACHELOR OF MECHANICAL ENGINEERING) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2020.

ABSTRACT

Most industrial acid pickling processes disperse acid vapors to the environment and, consequently, cause serious problems to human health and degradation to material resources. In view of this problem, it is necessary to provide a wholesome air in the pickling industry, in order to guarantee safety, comfort and health before the defense of workers and visitors. Local exhaust ventilation systems minimize or bring a healthy air to the environment, so that the contaminant is within tolerable limits. The exhaust system works in the capturing of the contaminant close to the source, preventing the emanation of gases, vapors, dust etc. not to harm people's health. The case study of this work aims to improve the existing system, which will be carried out with the installation of a new fan with a flow capacity and pressure higher than the old system, dimensioned from the required flow values and pressure loss found in the memory calculation, data that were collected during the technical visit. The installation of the new fan provided the conservation of structures and equipment, a healthy environment for the operation and maintenance employees or for anyone visiting the acid pickling and eliminated the environmental impacts.

Keywords: efficiency, ventilation, exhaustion, emanation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tanque de decapagem ácida.	25
Figura 2. Sistema de lavagem em polipropileno.	26
Figura 3. Localização para ventiladores.	30
Figura 4. Relação entre a fonte poluidora e o captor em um sistema de exaustão mecânico.	31
Figura 5. Indicação dos componentes de um sistema de exaustão.	32
Figura 6. Demonstração de entrada de ar no captor.	35
Figura 7. Captor tipo capela.	36
Figura 8. Captor tipo Coifa em uma cozinha industrial.	37
Figura 9. Vistas captor tipo Fenda.	37
Figura 10. Representação de um captor enclausurado succionando partículas da fonte contaminante.	39
Figura 11. Sistema enclausurado de captação.	39
Figura 12. Diagrama de Moody.	44
Figura 13. Peças especiais.	45
Figura 14. Coeficiente de perdas de cargas K. alguns tipos de peças especiais.	46
Figura 15. À esquerda tem-se o exemplo de um captor sem flange, enquanto à direita, com flange. Nota-se que na ausência do flange, há uma zona por trás da boca de entrada, o que acarreta num atraso de captação de gás.	49
Figura 16. Captor com frestas.	50
Figura 17. Lavador de gás.	54
Figura 18. Filtro de manga.	54
Figura 19. Ventilador Centrífugo Industrial.	57
Figura 20. Representação promocional sobre saúde e segurança do trabalho.	60
Figura 21. Óculos Panorâmico.	63
Figura 22. Protetores Auriculares.	63
Figura 23. Botina.	63
Figura 24. Capacete de Segurança.	64
Figura 25. Respirador 3M.	64
Figura 26. Macacão de proteção química (Tyvek).	65
Figura 27. Luvas de Latex.	65

Figura 28. Chuveiro com lava olhos.	67
Figura 29. Guarda corpo.....	67
Figura 30. Placas de sinalização.	67
Figura 31. Fita zebrada.....	68
Figura 32. Extintores.	68
Figura 33. Cones.	69
Figura 34. Dispositivos de Bloqueio.	69
Figura 35. Representação gráfica da composição do ar atmosférico.....	75
Figura 36. Fluxograma da metodologia.	76
Figura 37. Estado de conservação do Ventilador.	79
Figura 38. Efeitos da ineficiência do sistema de exaustão.	80
Figura 39. Lavador de Gás.	81
Figura 40. Cadeira Corretora e Seção de Lavagem.	81
Figura 41. Tanques de Decapagem.	82
Figura 42. Ventilador Centrífugo.....	82
Figura 43. Desenho do Sistema de Exaustão do Lavador até à Chaminé.	83
Figura 45. Especificações técnicas do fabricante.....	85
Figura 46. Quadriculas para escolha de ventiladores FlätkWoods.....	110
Figura 47. Ventiladores centrífugos HCLP 140 FlätkWoods.....	111
Figura 48. Ponto de funcionamento.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coeficiente de Entrada e Fator de Perda de Carga, para captosres convencionais.....	47
Tabela 2. Classificação por pressão	56
Tabela 3. Sintomas consequentes do contato ao ácido clorídrico	73
Tabela 4. Composição do ar	74
Tabela 5. Concentração de componentes no ar, quando há a presença de pessoa...	75
Tabela 6. Concentrações consideradas fatais em ppm	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Velocidade de escoamento de dutos.....	33
Quadro 2. Velocidade de captura.....	35
Quadro 3. Principais tipos de Captores.....	38
Quadro 4. Propriedades do Ar a Pressão atmosférica.....	43
Quadro 5. Fórmula de acordo com o tipo de captor e suas características.....	50
Quadro 6. Diversas fórmulas de vazão de acordo com tipos de captores.....	51
Quadro 7. Espessura de chapas galvanizadas de acordo com as classes.....	52
Quadro 8. Dimensões nominais para dutos circulares de alumínio.....	53
Quadro 9. Tipo de ventilador.....	56
Quadro 10. Característica dos ventiladores.....	58
Quadro 11. Classificação de ventiladores.....	59
Quadro 12. Limites de Tolerância.....	72
Quadro 13. Velocidades de captura recomendada.....	86
Quadro 14. Faixa de velocidades mínimos de projeto do duto.....	88

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	40
Equação 2	41
Equação 3	41
Equação 4	41
Equação 5	42
Equação 6	45
Equação 7	46
Equação 8	48
Equação 9	48
Equação 10	48

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
EPC	Equipamentos de Proteção Coletiva
NR	Norma Regulamentadora
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais

NOMENCLATURAS

h_v = Pressão dinâmica [mmH₂O]

ΔH_{A1-B} = Perda de carga correspondente ao trecho A1-B

ΔH_{A2-B} = Perda de carga correspondente ao trecho A2-B

ΔH_{B-F} = Perda de carga correspondente ao trecho B-F

ΔH_{F-K} = Perda de carga correspondente ao trecho F-K

ΔH_{Ha-Hb} = Perda de carga correspondente ao trecho Ha-Hb

ΔH_{Ha-Ia} = Perda de carga correspondente ao trecho Ha-Ia

ΔH_{Ia-Ib} = Perda de carga correspondente ao trecho Ia-Ib

ΔH_{K-P} = Perda de carga correspondente ao trecho K-P

ΔH_{L-W} = Perda de carga correspondente ao trecho L-W

ΔH_{La-Lb} = Perda de carga correspondente ao trecho La-Lb

$\Delta H_{Lavador}$ = Perda de carga correspondente ao trecho do purificador

ΔH_{Lb-La} = Perda de carga correspondente ao trecho Ib-La

ΔH_{M-L} = Perda de carga correspondente ao trecho M-L

ΔH_{P-H} = Perda de carga correspondente ao trecho P-H

ΔH_{Q-R} = Perda de carga correspondente ao trecho Q-R

ΔH_{R-S} = Perda de carga correspondente ao trecho R-S

ΔH_{S-Y} = Perda de carga correspondente ao trecho S-Y

$\Delta H_{Trajeto 1}$ = Perda de carga correspondente ao trajeto 1

$\Delta H_{Trajeto 2}$ = Perda de carga correspondente ao trajeto 2

$\Delta H_{Trajeto 3 + Trajeto 4}$ = Perda de carga correspondente ao trajeto 3 somado ao trajeto

$\Delta H_{Trajeto\ 3}$ = Perda de carga correspondente ao trajeto 3

$\Delta H_{Trajeto\ 4}$ = Perda de carga correspondente ao trajeto 4

ΔH_{V-S} = Perda de carga correspondente ao trecho V-S

ΔH_{W-K} = Perda de carga correspondente ao trecho W-K

ΔH_{Y-Z} = Perda de carga correspondente ao trecho Y-Z

ΔH_{Z-P} = Perda de carga correspondente ao trecho Z-P

γ = Peso específico do fluido [Kgf/m³]

ΔH = Perda de carga [mmCA]

ε = Rugosidade relativa

ν = Viscosidade cinemática [μ Pa]

A = Área de abertura do captor em [m²]

d = Diâmetro do duto [m]

f = Coeficiente de atrito ou resistência ao escoamento

F = Coeficiente de perda de carga

g = aceleração da gravidade [m/s²]

H = Altura do tanque [m]

K = Coeficiente de perda de carga singular

l = Comprimento do duto [m]

N = Potência [CV]

n = Rotação do motor [rpm]

P = Pressão [mmH₂O]

$P_{\text{máx}}$ = Pressão máxima [mmH₂O]

P_{req} = Pressão [mmH₂O]

Q = Vazão de captura [m³/h]

$Q_{\text{dispon}} = \text{Vazão disponível [m}^3/\text{h]}$

$Q_{\text{req}} = \text{Vazão requerida pelo sistema [m}^3/\text{h]}$

$Re = \text{Número de Reynolds}$

$S = \text{Seção transversal do duto [m}^2]$

$V = \text{velocidade de escoamento [m/s]}$

$V = \text{Velocidade de escoamento corrigida para o diâmetro calculado [m/s]}$

$V_c = \text{Velocidade de captura [m/s]}$

$W = \text{Largura do tanque [m]}$

$X = \text{Distância entre a fonte emissora e o eixo em metro}$

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	21
1.1. OBJETIVO	22
1.1.1. Objetivo Geral	22
1.1.2. Objetivo Específico	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1. PROCESSO DE DECAPAGEM	22
2.2. TANQUES DE TRATAMENTO QUÍMICO	24
2.3. TANQUES DE LAVAGEM	25
2.4. TANQUES ELEVADOS	26
2.5. TANQUES DE ÁGUA RESIDUAL	26
2.6. SISTEMAS DE VENTILAÇÃO	26
2.6.1. Ventilação Natural	26
2.6.1.1. Ventilação devido à variação de temperaturas	28
2.6.1.2. Ventilação devido a combinação da ação do vento e da diferença de temperaturas	28
2.6.2. Ventilação geral diluidora	28
2.6.2.1. Insuflação mecânica e exaustão natural.....	28
2.6.2.2. Insuflação natural e exaustão mecânica.....	28
2.6.3. Insuflação e exaustão mecânicas	29
2.7. VENTILAÇÃO EXAUSTORA	30
2.8. DUTOS	32
2.8.1. Velocidade de Transporte	33
2.9. CAPTOR	33

2.9.1. Velocidade de captura	34
2.9.2. Tipos de captor	35
2.9.2.1. Captor tipo capela.....	36
2.9.2.2. Captor tipo coifa.....	36
2.9.2.3. Captor tipo fenda	37
2.9.2.4. Captor enclausurado	38
2.9.3. Captor Enclausurado Total	39
2.10. DIMENSIONAMENTO DE DUTOS	40
2.10.1. Dutos de secção circular	40
2.11. PERDA DE CARGA	41
2.11.1. Perda de carga em dutos com secção circular	41
2.11.2. Perda de carga em peças especiais	44
2.11.3. Pressão dinâmica	45
2.11.4. Coeficiente de entrada	46
2.11.5. Perda de carga no captor	48
2.12. DIMENSIONAMENTO DO CAPTOR	48
2.12.1. Vazão de exaustão	48
2.12.2. Captores com flange	49
2.12.3. Captores com frestas	50
2.13. MATERIAL DOS DUTOS	52
2.14. PURIFICAÇÃO DO AR	53
2.15. VENTILADORES	55
2.15.1. Ventiladores Centrífugos	55
2.15.2. Ventiladores Axiais	57

2.16. SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO	59
2.16.1. Saúde no trabalho	60
2.16.2. Segurança no trabalho	61
2.17. PROTEÇÃO COLETIVA E INDIVIDUAL	61
2.17.1. Equipamento de proteção	61
2.17.2. Equipamento de proteção individual (EPI)	62
2.17.3. Equipamento de proteção coletiva (EPC)	66
2.18. NORMAS REGULAMENTADORAS	69
2.18.1. NR 9- Programa de prevenção de riscos ambientais	70
2.18.2. NR 15- Atividades e operações insalubres	71
2.19. CAUSAS DA EXPOSIÇÃO AOS AGENTES QUÍMICOS DECORRENTES DO PROCESSO DE DECAPAGEM AO SER HUMANO	72
2.19.1. Ácido clodrítrico	73
2.19.2. Cloreto férrico	73
2.19.3. Cloreto ferroso	74
2.20. COMPOSIÇÃO DO AR	74
3. METODOLOGIA	76
3.1. VISITA TÉCNICA AO SISTEMA DE EXAUSTÃO DE FUMOS	77
3.2. DESIGNAÇÃO DOS OBJETIVOS	77
3.3. MODELAGEM MATEMÁTICA	77
3.4. SOLUÇÃO PROPOSTA	78
3.5. ORÇAMENTO	78
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	78
4.1. ESTUDO DE CASO	78

4.1.1. Situação Encontrada	78
4.1.2. Evidências do Estado de Conservação do Ventilador	79
4.1.3. Ineficiência da Captação do Sistema.....	79
4.1.4. Componentes do Sistema de Exaustão.....	80
4.1.5. Sistema de exaustão da linha de decapagem ácida.....	83
4.2. MODELAGEM MATEMÁTICA	84
4.2.1. Dados do Fabricante	85
4.2.2. Vazão de captura	85
4.2.3. Dimensionamento dos dutos	87
4.2.4. Cálculo da perda de carga ΔH.....	95
4.3. SOLUÇÃO PROPOSTA	109
4.3.1. Dimensionamento de um novo ventilador	109
4.3.2. Orçamento.....	114
5. CONCLUSÃO	115
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
ANEXO A – Catálogo LCI ventiladores	118
ANEXO B – Catálogo para ventiladores centrífugos para indústrias FläktWoodS.....	120

1. INTRODUÇÃO

A decapagem ácida é uma das atividades industriais mais essenciais dentro das etapas de fabricação do aço. Por meio da utilização de ácidos decapantes obtém-se chapas de aço decapadas de modo que as chapas possam passar por processos posteriores de beneficiamento. O processo de decapar, portanto, é essencial para remover camadas indesejáveis de óxidos, geradas a partir da combinação do ferro com o oxigênio, chamadas de carepas. No entanto, o processo de decapar apresenta irritações e riscos à saúde dos trabalhadores e visitantes com o escape dos gases ácidos para a atmosfera.

Os processos de decapagem, que utilizam substâncias químicas, geram gases tóxicos e vapores que ficam suspensos no ar que podem irritar os olhos e, se houver inalação, causam problemas sérios aos pulmões e até morte em períodos prolongados. É importante evitar o contato com ácido, pois acidentes com essas substâncias podem trazer queimaduras sérias à pele. Dessa forma, a utilização de EPI'S na decapagem é essencial para evitar a inalação e o contato com o ácido decapante.

Dessa forma, essas etapas industriais que possuem contaminante contam com um sistema de exaustão, de modo a proporcionar uma área salubre, isto é, garantir um ar de boa qualidade. A exaustão dos gases e vapores também têm o objetivo de evitar a poluição ambiental e danos à saúde das pessoas que trabalham e circulam no galpão de decapagem. Além disso, como prevê a norma NR 9, é necessário que haja avaliação e controle dos riscos ambientais existentes no ambiente de trabalho. Em se tratando da emissão de gases na decapagem ácida, faz-se necessário prevenir, eliminar ou buscar eliminar o escape dos gases e vapores de ácido.

O papel do sistema de exaustão é indispensável nessas situações, pois esse tipo de ventilação industrial capta os contaminantes de uma fonte poluidora e realiza um processo de tratamento para poder lançá-los na atmosfera sem ameaçar a saúde e a vida da população das vizinhanças (MACINTYRE 1990).

A presente análise trabalhará em função da vazão necessária para reduzir a concentração dos poluentes provenientes do processo de decapagem ácida, fazendo uma comparação com a vazão disponível do sistema de exaustão em uso, a fim de

proporcionar melhorias que trarão benefícios não só para a conservação dos materiais e equipamentos situados no galpão, como também para a saúde humana.

1.1. OBJETIVO

1.1.1. Objetivo Geral

Proporcionar um ar salubre no ambiente da decapagem de modo a garantir segurança, conforto e saúde em face da defesa dos trabalhadores e visitantes. Trabalhar da melhor forma na eliminação ou redução dos contaminantes que se encontram na atmosfera, onde não só há elevado risco à saúde humana e corrosão dos materiais e equipamentos, como também há risco para a população localizada nas proximidades da indústria devido aos lançamentos desses poluentes sem o devido tratamento.

1.1.2. Objetivo Específico

Obter a vazão necessária de remoção dos gases e vapores ácidos em face do lançamento dos contaminantes no interior do galpão da decapagem e comparar com o valor da vazão real do equipamento, a fim de identificar as falhas e perdas de carga do sistema de exaustão. Dessa forma, possíveis melhorias poderão ser implantadas para garantir a confiabilidade do equipamento e, por conseguinte, garantir um ar salubre.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PROCESSO DE DECAPAGEM

A disputa acirrada pelo mercado fez com que as empresas do ramo siderúrgico buscassem pesquisas por novos materiais, relacionada ao desenvolvimento, qualidade e custo de produção. Diante do cenário competitivo cada vez mais presente,

esses fatores são imperativos para a sobrevivência e domínio no mercado, motivando a busca por excelência e novas propriedades de seus produtos.

Os Tratamentos superficiais têm ganhado cada vez mais força nos diversos setores industriais de fabricação de peças e chapas de aço devido à importância da conservação para que peças e estruturas tenham proteção à exposição ao meio ambiente e outros agentes agressivos às superfícies. Dessa forma, as indústrias passaram a utilizar essas operações de tratamento para que seus produtos pudessem adquirir cada vez mais proteção, conservação e qualidade, pois permitem que os produtos fabricados recebam, em processos posteriores, o processo de beneficiamento em suas superfícies.

Para isso, é de extrema importância o conhecimento dos métodos de limpeza e preparação das superfícies a fim de obter resultados satisfatórios e padrões de qualidade dos produtos cada vez mais duráveis e com padrões estéticos elevados que são exigidos cada vez mais pelos clientes. Em decorrência disso, as empresas necessitam de processos como a decapagem ácida para limpar e preparar as superfícies que receberão camadas de revestimentos indispensáveis para a qualidade do produto.

A etapa de decapagem ácida consiste em um processo eletroquímico com o principal objetivo de remover os óxidos de ferro presentes nas superfícies das tiras de aço, que se formam durante o resfriamento da placa de aço no processo de laminação a quente. As bobinas quentes posicionadas na esteira de entrada para a decapagem possuem camadas de óxidos (Carepas), composta por magnetita (Fe_3O_4), hematita (Fe_2O_3) e Wustita (FeO).

A decapagem ácida, por método de imersão, utiliza soluções de ácido clorídrico com concentrações que dependem da quantidade de ferrugem e o tipo de aço, onde as tiras são direcionadas para dentro do tanque químico que contém a solução ácida. Nessa etapa ocorre a limpeza superficial do aço pois, durante o banho químico da chapa, o cloro presente no ácido clorídrico combina-se com o ferro, formando o cloreto ferroso e férrico. O processo de decapagem é realizado em diversos aços, e é realizado a uma temperatura cerca de 90°C .

Além do objetivo de remover a camada de óxido, o processo de decapagem visa obter a redução do atrito nas superfícies, melhorar processos de laminação a frio

posteriores com a lubrificação por meio do oleamento da chapa, bem como evitar reoxidação. Dessa forma, o papel da decapagem é fornecer bobinas oleadas e decapadas.

2.2. TANQUES DE TRATAMENTO QUÍMICO

A seção de tratamento químico é composta por 4 tanques para ácido e um de Preaquecimento, onde o de Preaquecimento utiliza água quente, aquecida por um jato de vapor, para Preaquecer a tira que passa por ele. Os outros 4 tanques são para desoxidar continuamente a tira. O enchimento dos tanques é pelo efeito cascata, onde o abastecimento é feito no tanque de número 4 que transborda para encher os tanques de ácido nº 1, 2 e 3. O abastecimento dos tanques é feito com água e ácido, de modo que a concentração no 1º tanque seja de 4%, no tanque nº 2 de 7%, no nº3 de 11% e no nº 4 de 18%. em seguida, essa solução de decapagem é geralmente aquecida até 90°C.

Os tanques de ácido possuem uma cobertura superior de polipropileno pois diminuem a necessidade de manutenção e pintura, e evitam que os gases formados da etapa de decapagem sejam liberados para o ambiente. Em cada tanque há instalado um condutor de gases (exaustor) que retiram os gases e vapores gerados do processo químico. Além disso, os tanques possuem tampas e vedações por selo d'água, que evitam a emanação da fumaça e dos gases através das aberturas dos tanques. Uma pressão negativa é criada com a vedação dos tanques, de modo que o contaminante fique suspenso dentro do tanque para ser exaurido pelo exaustor.

Figura 1. Tanque de decapagem ácida.



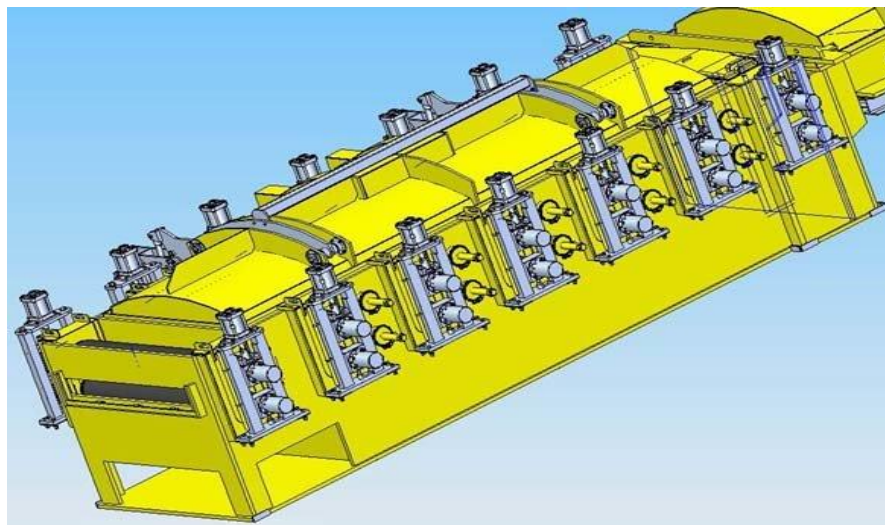
Fonte: <https://www.sybs.com.br/wp-content/uploads/2018/05/tanque-decapagem-push-pull-03-tanques-decapagem-1024x709.jpg>

2.3. TANQUES DE LAVAGEM

Após ao ataque químico sobre a tira, deve-se realizar uma lavagem para retirar o ácido que permanece na chapa de aço. Jatos de água quente são lançados na parte inferior e superior da tira para remover a presença da solução ácida, e assim fazer a limpeza final.

A seção de lavagem possui 5 tanques, que utiliza água quente aquecida por jatos de vapores. Os gases e vapores gerados nessa seção também são direcionados ao sistema de exaustor para que evitar o escape para o galpão da linha de decapagem.

Figura 2. Sistema de lavagem em polipropileno.



Fonte: https://www.researchgate.net/profile/Karl_Bagger/publication/330915729/figure/fig5/AS:733080214056972@1551791351864/Figura-5-Detalhes-do-sistema-de-lavagem-em-polipropileno.jpg

2.4. TANQUES ELEVADOS

Esta seção é composta por quatro tanques que recebem e estocam o ácido regenerado pela usina de regeneração. Esses tanques têm o objetivo de alimentar os tanques de decapagem.

2.5. TANQUES DE ÁGUA RESIDUAL

Instalado na parte inferior aos tanques de decapagem, lavagem e elevado, esse tanque recebe a mistura de ácido e água decorrente do processo de lavagem. O ácido residual armazenado é então bombeado para a Usina de regeneração de ácido.

2.6. SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

2.6.1. Ventilação Natural

A ventilação natural se baseia em sistemas de entrada e saída de ar que visam, de forma premeditada, aproveitar da melhor forma o fluxo de correntes de ar que

passam pelo ambiente. Para isso, em geral se utilizam de janelas, portas, basculantes e lanternins.

Para que o fluxo de ar seja aproveitado da melhor forma no ambiente, deve-se levar em conta alguns aspectos como a diferença de pressão entre o ambiente externo e interno e a facilidade de o fluxo de ar passar pelo ambiente.

Um dos exemplos de ventilação mais utilizados na indústria é o sistema conhecido como ventilação por gravidade. Neste tipo de ventilação é comum se utilizar de aberturas no teto das edificações, aberturas essas que possuem, por exemplo, lanternins. Também é muito comum que se utilize desse tipo de ventilação em ginásios, galpões e até supermercados.

A ventilação natural é, se não a mais utilizada, uma das mais utilizadas na construção tendo particularidades e podendo ser dividida em três partes: Conforme (MACINTYRE, 1990).

- Ventilação devido à ação do vento;
- Ventilação devido à diferença de temperaturas;
- Ventilação pela combinação da ação do vento e da diferença de temperaturas;
- Ventilação devido à ação do vento.

É necessário, para que se possa aproveitar da melhor forma a ação natural do vento na ventilação, que sejam projetadas aberturas voltadas para o lado onde o sentido do vento costuma ser predominante a fim de que se tenha uma otimização deste recurso natural.

É de extrema importância que as saídas de ar sejam posicionadas em locais estratégicos que possuam pressão inferior à saída. São exemplos destes locais: paredes laterais e parede oposta ao fluxo de ar.

Como se trata de um recurso natural, e que não tem obrigação de seguir padrões podendo variar de acordo com as estações do ano e, por exemplo, esse tipo de ventilação não pode, de forma alguma, oferecer uma garantia de uniformidade, o que não é um fator que a impossibilite de ser adotada em determinadas situações.

2.6.1.1. Ventilação devido à variação de temperaturas

Como é sabido, o ar quente é menos denso que o ar frio, o que faz com que ele siga um fluxo para a parte superior do ambiente, e é aí que entra a importância de equipamentos como as chaminés e lanternins, fazendo com que esse fluxo de ar quente saia por meio das aberturas na parte superior do ambiente. Podemos chamar esse tipo de escoamento de efeito chaminé.

2.6.1.2. Ventilação devido a combinação da ação do vento e da diferença de temperaturas

Tendo como base os dois tipos anteriores de ventilação, e combinando-as, é possível ter um recurso de ventilação natural muito mais eficiente. Para que se possa calcular a vazão total (Q_t) devemos calcular as vazões da mesma forma que foi feito nos exemplos anteriores e somá-las, obtendo assim a Vazão total no ambiente.

2.6.2. Ventilação geral diluidora

2.6.2.1. Insuflação mecânica e exaustão natural

A ventilação geral diluidora com insuflação mecânica e exaustão natural é um tipo de ventilação que se utiliza de equipamentos de ventilação para retirar determinada massa de ar ou de resíduos do ambiente interno para o ambiente externo. Basicamente, esse tipo de ventilação, se encarrega de aumentar a pressão do ambiente externo deixando-a superior à pressão externa fazendo com que os contaminantes do ambiente sejam jogados para fora por meio de aberturas.

Esse tipo de ventilação é muito utilizado quando existe a necessidade de impedir que contaminantes oriundos de outros recintos entrem no local insuflado.

2.6.2.2. Insuflação natural e exaustão mecânica

Neste tipo de ventilação diluidora são utilizados exaustores para que seja feita a remoção do ar contido no ambiente interno para o ambiente externo. Neste caso, diferentemente do anterior a pressão no ambiente interno deverá sempre ser menor

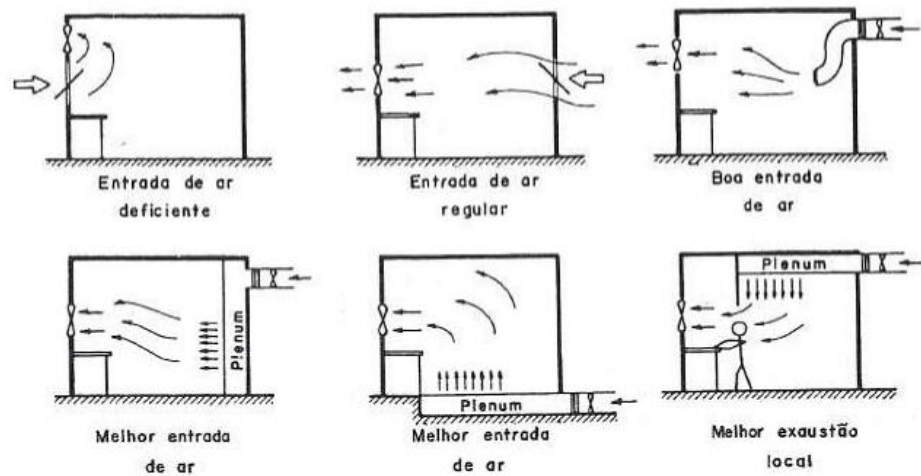
que a pressão do ambiente externo a fim de que os contaminantes contidos no interior do recinto não sejam transferidos para outros ambientes a não ser o desejado, mas permite que contaminantes externos entrem no ambiente interno. Como principal vantagem, esse tipo de ventilação, possui um custo mais baixo, mas não permite que a qualidade do ar que adentra ao recinto seja controlada a não ser pela utilização de filtros. Em geral, esse tipo de insuflação é utilizado em ambientes onde não existe uma grande necessidade da qualidade do ar. (MACINTYRE,1990).

2.6.3. Insuflação e exaustão mecânicas

Aplicado em situações em que se existe a necessidade de um controle maior com relação à qualidade do ar nos ambientes externo e interno, esse tipo de insuflação se utiliza de exaustores e ventiladores a fim de controlar a pressão interna deixando-a inferior ou superior a pressão externa, fazendo com que, quando necessário, contaminantes externos não adentrem ao recinto e também, se assim for preciso, que contaminantes oriundos do ambiente interno não sejam expelidos para o ambiente externo.

Esse sistema, quando comparado aos anteriores possui um valor mais elevado, haja visto que utiliza ambos os equipamentos dos sistemas anteriores. Deve se evitar, nesse tipo de insuflação, que ocorra um fenômeno conhecido como “curto circuito de ar”, onde o ar que entra pela abertura de admissão passa direto para a saída. Por isso, o projeto de insuflação mecânica, neste caso, deve ser bem feito, escolhendo sempre a melhor localização para os ventiladores, a fim de que este fenômeno não ocorra.

Figura 3. Localização para ventiladores.



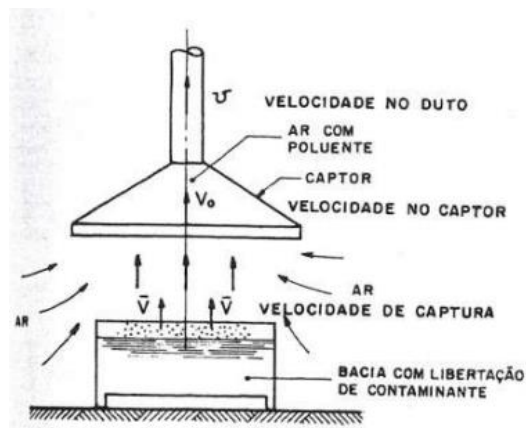
LOCALIZAÇÕES ADEQUADAS PARA OS VENTILADORES

Fonte: MACINTYRE (1990).

2.7. VENTILAÇÃO EXAUSTORA

Algumas operações industriais acabam por produzir contaminantes que por possuírem uma alta toxicidade, ou simplesmente pelo fato de serem formados em grandes quantidades, não podem simplesmente serem jogados no meio ambiente, pois podem causar prejuízos ambientais ou para aqueles que trabalham no entorno. Como forma de evitar esse tipo de contaminação, existe a possibilidade de utilizar a ventilação local exaustora para captar os resíduos produzidos, evitando que eles se espalhem pelo ambiente de trabalho e nem mesmo afetem o operador do equipamento. (MACINTYRE,1990).

Figura 4. Relação entre a fonte poluidora e o captor em um sistema de exaustão mecânico.

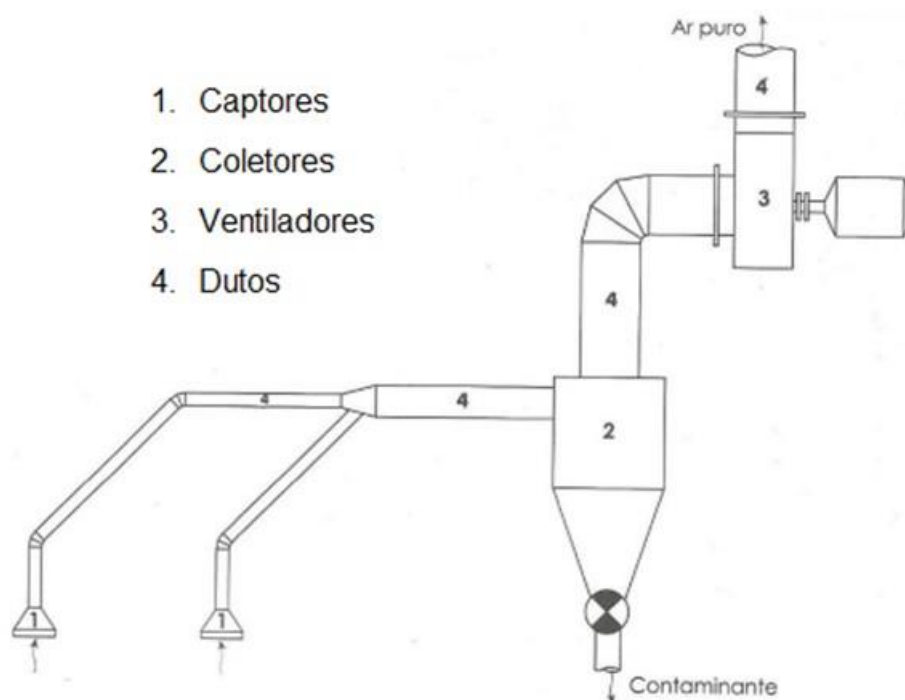


Fonte: MACINTYRE (1990).

Um sistema de ventilação local exaustor pode ser dividido em quatro partes essenciais, são elas:

- **Captore:** são dispositivos que tem como objetivo captar o ar contaminado proveniente do processo. São posicionados no local onde ocorre a liberação de poluentes;
- **Coletores:** são equipamentos responsáveis por reter as partículas contaminantes ou dissolvê-las, fazendo assim com que não sejam diretamente expelidas no ambiente. Podem ser instalados antes ou depois dos ventiladores;
- **Ventiladores:** estes equipamentos são utilizados na ventilação local exaustora para criar a rarefação responsável por deslocar o ar contaminado, e tem o objetivo de causar o aumento da pressão, fazendo com que o ar contaminado seja expelido para o ambiente externo;
- **Rede de dutos:** são tubulações responsáveis por conduzir o ar contaminado por todo o sistema até chegar ao ambiente externo.

Figura 5. Indicação dos componentes de um sistema de exaustão.



Fonte: <http://eletrica.satc.edu.br/eletrica/attachments/2307/TCC%20EE.pdf>

2.8. DUTOS

Em casos em que não é possível a instalação de ventiladores axiais, a exaustão mecânica se torna necessária, deslocando o ar contaminante do ambiente para o exterior por meio de dutos de ventilação, graças à pressão negativa que o ventilador exerce sob o ar.

A rede de dutos deve ser instalada de maneira que se adapte ao local de trabalho, de modo que o comprimento seja o mínimo possível para minimizar as perdas de cargas, reduzindo o gasto de energia. A redução da energia requerida tem impacto direto no custo operacional. Quanto maior a velocidade do deslocamento do ar, maior será a potência exigida pelo ventilador, aumentando a perda de carga, tendo influência direta no custo de implementação e operação. Economicamente, é comum afirmar que a velocidade do fluxo do fluido deve ser situada próxima à mínima requerida do sistema, de modo que até mesmo os ruídos podem ser minimizados.

2.8.1. Velocidade de Transporte

A velocidade de escoamento é a velocidade com que o fluido escoar dentro do duto. Para determinar a velocidade do ar nos dutos e difusores em diferentes regiões do mesmo em edifícios públicos e indústrias de modo geral, utiliza-se usualmente dados fornecidos pelo (quadro 1) a seguir.

A velocidade do transporte dos sedimentos deve estar de acordo com a velocidade de ar na tubulação, isto é, é necessário haver uma velocidade mínima requerida para que não haja depósito de partículas no interior do equipamento. Geralmente, admite-se que a velocidade ideal de vazão de gases esteja entre 5 e 10 m/s, pois neste caso não ocorre a concentração de sedimentos ou partículas sólidas no interior da tubulação.

Quadro 1. Velocidade de escoamento de dutos.

Nature of Contaminant	Examples	Design Velocity
Vapors, gases, smoke		Any desired velocity (economic optimum velocity usually 1000–2000 fpm)
Fumes, metal smokes	Welding	2000–2500 fpm
Very fine light dust	Cotton lint, wood flour, litho powder	2500–3000 fpm
Dry dusts & powders	Fine rubber dust, Bakelite molding powder dust, jute lint, cotton dust, shavings (light), soap dust, leather shavings	3000–3500 fpm
Average industrial dust	Grinding dust, buffing lint (dry), wool jute dust (shaker waste), coffee beans, shoe dust, granite dust, silica flour, general material handling, brick cutting, clay dust, foundry (general), limestone dust, packaging and weighing asbestos dust in textile industries	3500–4000 fpm
Heavy dusts	Sawdust (heavy and wet), metal turnings, foundry tumbling barrels and shake-out, sand blast dust, wood blocks, hog waste, brass turnings, cast iron boring dust, lead dust	4000–4500 fpm
Heavy or moist dusts	Lead dusts with small chips, moist cement dust, buffing lint (sticky), quick-lime dust	4500 fpm and up

Fonte: ACGIH (2010).

2.9. CAPTOR

Consiste em um equipamento que estabelece o movimento de corrente de fluido para seu interior, promovida pela diferença de pressão entre o ar externo e interno. A corrente adentrada pelo captor, percorre pelos dutos até o ventilador. Para

que este sistema haja eficácia em sua utilização, é necessário que haja uma pressão negativa no interior do captor (MACINTYRE,1990).

No captor, é necessário ter em consideração duas velocidades distintas:

- A velocidade de percurso nos dutos de ventilação;
- Velocidade na qual os gases contaminantes adentram no captor, ou seja, os gases ou partículas contaminantes produzidas são induzidas através de uma corrente de ar, desde o local de formação deste poluente, até a entrada do captor, de modo que não haja dispersão do mesmo para ambiente. Neste aspecto, é importante ressaltar que para uma correta eficácia na absorção dos contaminantes por parte da coifa, é necessário que não haja outras correntes de ar indesejadas, como janelas por exemplo. (MACINTYRE,1990).

2.9.1. Velocidade de captura

A velocidade de captura ou velocidade de controle é determinada por diversos fatores englobando o sistema de exaustão, como o tipo de contaminante, velocidade de emissão juntamente com a concentração de toxicidade, tipo de captor e grau de inércia do ar presente no ambiente. Neste aspecto, a velocidade de captura é padronizada de acordo com o tipo de fluido que irá adentrar no sistema, garantindo que as partículas ou gases sejam completamente captados de forma adequada.

Como demonstrado na figura abaixo, a vazão de fluido emitida pela fonte deverá ser completamente e uniformemente absorvida pelo captor, de modo que não haja fuga de gases ou partículas para o ambiente. (HENRIQUE DE MELO LISBOA,2007).

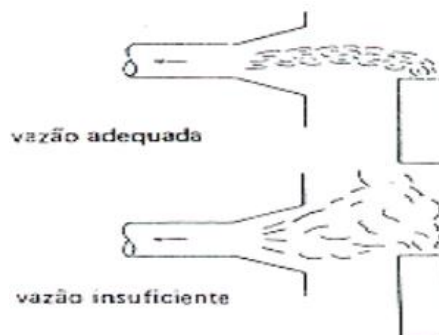
O (quadro 2) fornecido pela ACGIH Industrial Ventilation Guide, 2010 recomenda as velocidades de captura em diferentes tipos de operações mecânicas, visto que, em certas operações são produzidas partículas de tamanhos diferentes e pesos diferentes. Como é necessário que se determine a velocidade de captação no início do projeto e o tipo de captor, pois a partir dos mesmos é procedido o dimensionamento (MACINTYRE,1990).

Quadro 2. Velocidade de captura.

Energy of dispersion	Examples	V, ft/min
Little motion	Evaporation from tanks, degreasing	75–100
Average motion	Intermittent container filling; low speed conveyor transfers; welding; plating; pickling	100–200
High	Barrel filling; conveyor loading; crushers	200–500
Very high	Grinding; abrasive blasting; tumbling	500–2000

Factors affecting choices within ranges
Strength of cross-drafts due to makeup air, traffic, etc.
Need for effectiveness in collection: toxicity of contaminants produced by the source exposures from other sources, which reduces acceptable exposure from this source quantity of air contaminants generated – production rate, volatility, time generated
* see also ANSI Z9.2–1979

Fonte: ACGIH (2010).

Figura 6. Demonstração de entrada de ar no captor.

Fonte: Lisboa (2007).

2.9.2. Tipos de captor

- Capela;
- Coifas;
- Fendas;
- Enclausurado.

2.9.2.1. Captor tipo capela

Os captores capela são constituídos de sucção através do deslocamento vertical de gases através da entrada de ar na região inferior do equipamento. Possuem formato de armário e permanecem em mesas de laboratório.

Figura 7. Captor tipo capela.

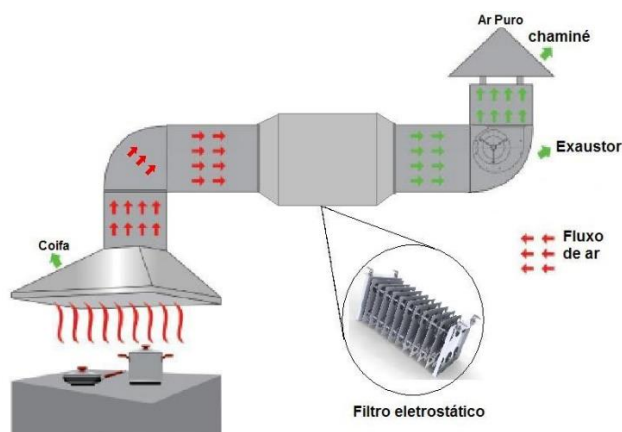


Fonte: <http://www.sievom.com.br/imagens/produtos/capelas-exaustoes-01.jpg>

2.9.2.2. Captor tipo coifa

As coifas são muito utilizadas em cozinhas industriais, com a finalidade de auxiliar fogões ou fornos com a sucção de gases com alta temperatura. Possuem característica piramidal, com sentido vertical de deslocamento de ar. Neste caso particular, os vapores adquirem força para entrarem no captor através do aquecimento destes gases, promovendo uma redução no peso específico deles. Neste caso específico, a remoção de ar se dá pela diferença entre o peso específico do ar ambiente e do contaminante. O calor presente no fogão ou forno, reduz o peso específico do vapor exaurido, fazendo com que ele adquira força suficiente para adentrar à coifa com uma necessidade menor de pressão exercida pelo exaustor.

Figura 8. Captor tipo Coifa em uma cozinha industrial.



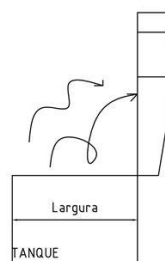
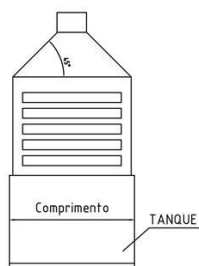
Fonte: <https://arwek.com.br/site1/wp-content/uploads/2019/09/Infogr%C3%A1fico-Localiza%C3%A7%C3%A3o-do-Gabinete-de-Filtro-Eletr%C3%A9tico-em-um-Sistema-de-Exaust%C3%A3o-de-uma-cozinha-industrial.jpg>

2.9.2.3. Captor tipo fenda

Captadores tipo fenda são utilizados para absorver gases contaminantes oriundos de tanques. São utilizados em casos em que o fluido em questão transmite periculosidade ao operador, sendo necessário ser instalado próximo ao tanque, para que o poluente não tenha contato com o operador.

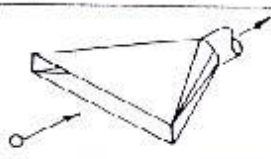
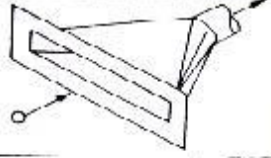
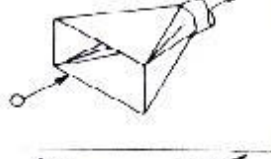

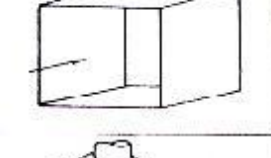
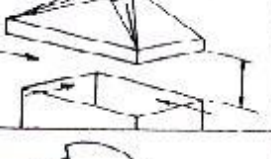
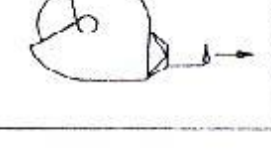
Figura 9. Vistas captor tipo Fenda.

Vista Frontal Vista Lateral



Fonte: <http://catalogo.exausfibra.com.br/Asset/a1121.jpg>

Quadro 3. Principais tipos de Captores.

Tipos de captor	Descrição
	Fenda
	Fenda flanqueada
	Abertura
	Abertura flangeada
	Cabine
	Coifa
	Enclausurado

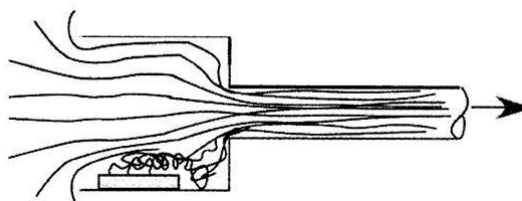
Fonte: http://www.geocities.ws/Athens/Troy/8084/figura_7.JPG

2.9.2.4. Captor enclausurado

Captos em enclausuramento são destinados para promover a prevenção de escape de contaminante através de uma barreira física. Captor em enclausuramento é um eficaz meio de controle de contaminante, sendo que uma importante consideração é a necessidade de acessibilidade do sistema por parte do operador. Quando a concentração de contaminante no interior for grande, a presença do operador neste local se torna perigosa sem a vestimenta necessária. De forma geral,

quanto menor a área de abertura permanente, melhor é a contenção de contaminante no interior do enclausuramento. (ACGIH,2010).

Figura 10. Representação de um captor enclausurado succionando partículas da fonte contaminante.

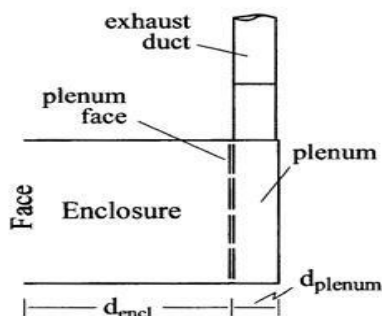


Fonte: ACGIH (2010).

2.9.3. Captor Enclausurado Total

Enclausuramento total inclui a possibilidade de se trabalhar com diversos níveis de abertura. No caso de enclausuramento total, a presença frequente do operador se torna inadequada, devido à alta concentração de contaminantes. Quando ocorre o enclausuramento total da fonte contaminante, isto é, o captor envolve completamente o gerador de particulado, a velocidade de captura será a necessária para impedir que ocorra fuga de ar por frestas ou por demais pequenas aberturas presentes no captor. (ACGIH, 2010).

Figura 11. Sistema enclausurado de captação.



Fonte: ACGIH (2010).

O cálculo da vazão para este tipo captor se dá pela seguinte expressão:

$$Q = V.A \quad (1)$$

Onde:

Q = Vazão em m^3/s ;

A = Área em m^2 ;

V = Velocidade em m/s .

Nesse caso, a área se configura por toda a soma de aberturas e frestas existentes no captor.

2.10. DIMENSIONAMENTO DE DUTOS

Existem alguns métodos para determinação das dimensões do duto, neste artigo será aplicado o método dinâmico. Para isso, são considerados os trechos retilíneos, e com isso é determinado as dimensões transversais do duto.

2.10.1. Dutos de secção circular

Para obtenção das velocidades em diferentes trechos são utilizados como referência os (quadros 1 e 2) de maneira que as velocidades sejam máximas nos trechos principais e menor nos trechos ou ramais secundários.

Então, estabelecido a velocidade e com o conhecimento das vazões em cada trecho, é possível determinar a seção transversal com a equação, e com isso, determinar o diâmetro do duto ou os lados do retângulo, que corresponde a área.

A partir da seção encontrada, é possível determinar uma aproximação do diâmetro do duto através da aplicação da equação da continuidade.

$$A = \frac{Q}{V} \quad (2)$$

E então:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad (3)$$

Onde:

A – Área da seção transversal, em m²;

Q = Vazão do escoamento, em m³/s;

d – Diâmetro de duto, em m.

2.11. PERDA DE CARGA

2.11.1. Perda de carga em dutos com seção circular

A perda de carga tem papel fundamental no cálculo do dimensionamento de dutos de ventilação, sendo primordial a determinação da soma da perda de energia durante o percurso do ar, influenciando também na velocidade do contaminante, e consequentemente, na determinação do ventilador para o sistema de exaustão.

Para determinar a perda de carga em dutos circulares, são aplicados os métodos utilizando a equação universal de Darcy e Weisbach ou através da utilização de diagramas que se baseiam no trabalho do duto de um específico material e rugosidade pré-estabelecida (MACINTYRE, 1990).

Inicialmente, será aplicado o método universal, caso seja conhecido a rugosidade do material, o peso específico e viscosidade do fluido. Para isso, será aplicado a equação a seguir:

$$\Delta p = \left(f \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \right) \cdot \gamma \quad (4)$$

Onde:

Δp - Perda de carga, em Pa;

l - Comprimento do duto, em m;

d - Diâmetro do duto, em m;

v - Velocidade, em m/s;

g - Aceleração da gravidade, em metros por segundo ao quadrado, pode ser considerado $9,81\text{m/s}^2$;

γ - Peso específico do fluido, em Kgf/m^3 ;

f - Coeficiente de atrito ou resistência ao escoamento, é obtido através do Diagrama de Moody, utilizando o número de Reynolds e a rugosidade relativa.

Caso o coeficiente de atrito não seja fornecido pelo fabricante, é necessário determinar o número de Reynolds para que seja obtido o mesmo. Para isso, é utilizada a seguinte equação.

$$Re = \left(\frac{v \cdot d}{\nu} \right) \cdot \gamma \quad (5)$$

Re - Número de Reynolds;

ν - Coeficiente viscosidade cinemática, em μPa ;

O (quadro 4) a seguir apresenta o peso específico e a viscosidade cinemática do ar.

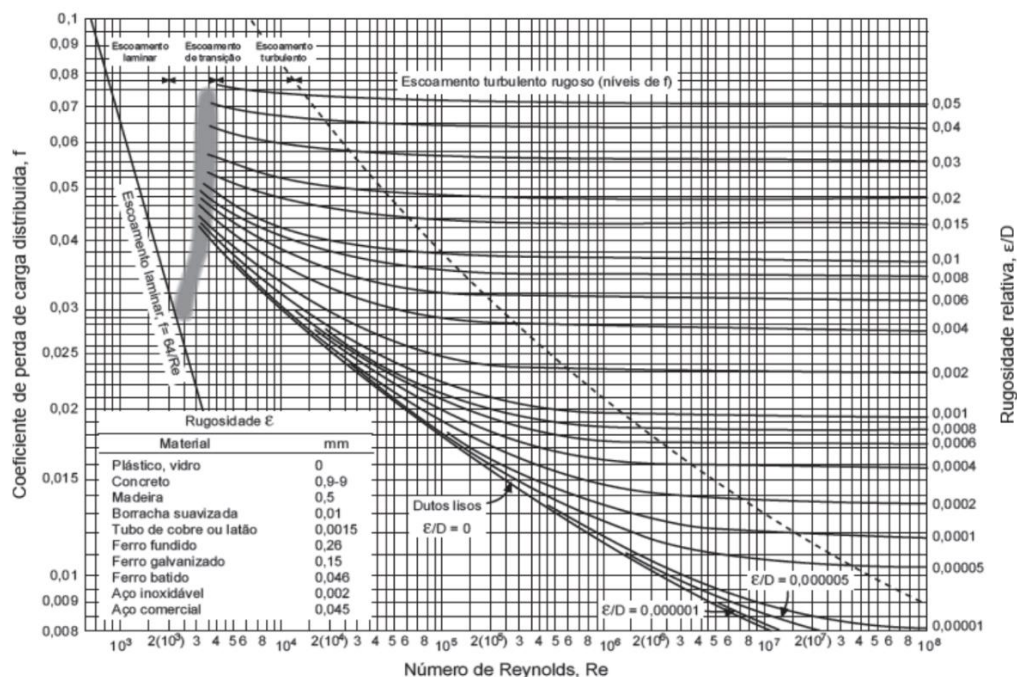
Quadro 4. Propriedades do Ar a Pressão atmosférica.

Temperatura (°C)	Massa específica ρ (kg/m ³)	Peso Específico γ (N/m ³)	Viscosidade dinâmica μ (Pa.s)	Viscosidade cinemática ν (m ² /s)
-40	1.514	14.85	1.51 x10 ⁻⁵	9.98 x10 ⁻⁶
-30	1.452	14.24	1.56 x10 ⁻⁵	1.08 x10 ⁻⁵
-20	1.394	13.67	1.62 x10 ⁻⁵	1.16 x10 ⁻⁵
-10	1.341	13.15	1.67 x10 ⁻⁵	1.24 x10 ⁻⁵
0	1.292	12.67	1.72 x10 ⁻⁵	1.33 x10 ⁻⁵
10	1.247	12.23	1.77 x10 ⁻⁵	1.42 x10 ⁻⁵
20	1.204	11.81	1.81 x10 ⁻⁵	1.51 x10 ⁻⁵
30	1.164	11.42	1.86 x10 ⁻⁵	1.60 x10 ⁻⁵
40	1.127	11.05	1.91 x10 ⁻⁵	1.69 x10 ⁻⁵
50	1.092	10.71	1.95 x10 ⁻⁵	1.79 x10 ⁻⁵
60	1.060	10.39	1.99 x10 ⁻⁵	1.89 x10 ⁻⁵
70	1.029	10.09	2.04 x10 ⁻⁵	1.99 x10 ⁻⁵
80	0.9995	9.802	2.09 x10 ⁻⁵	2.09 x10 ⁻⁵
90	0.9720	9.532	2.13 x10 ⁻⁵	2.19 x10 ⁻⁵
100	0.9459	9.277	2.17 x10 ⁻⁵	2.30 x10 ⁻⁵
110	0.9213	9.034	2.22 x10 ⁻⁵	2.40 x10 ⁻⁵
120	0.8978	8.805	2.26 x10 ⁻⁵	2.51 x10 ⁻⁵

Fonte: R. Mott Mecânica de Fluidos Aplicada 4ª edição, 1996.

Determina-se a rugosidade relativa com o auxílio de tabelas para cada específico material. E então, é possível com a utilização do Diagrama de Moody a obtenção do coeficiente de atrito, conforme a (figura 12).

Figura 12. Diagrama de Moody.



Fonte: <https://files.passeidireto.com/53c52a8d-e79a-4e97-b1bc-668429b10111/bg1.png>

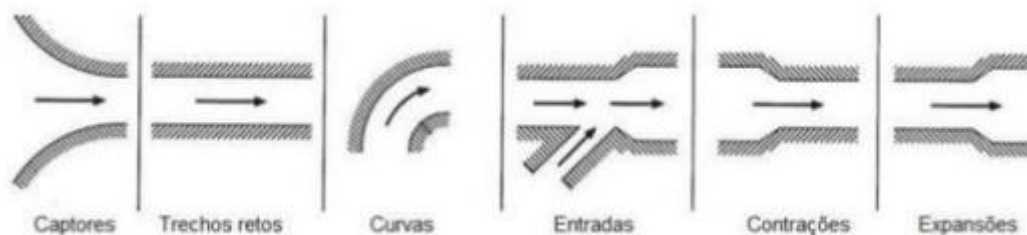
2.11.2. Perda de carga em peças especiais

Após calcular a perda de carga em dutos de seção circular, é necessário considerar as perdas especiais ao longo do duto, visto que na instalação de ventilação forçada há diversas peças que fazem com que haja o aumento da perda de carga, pois por toda a extensão do duto estão presentes o atrito, turbulências e variações na velocidade, que são responsáveis por esse acréscimo. Tal fenômeno é denominado “pressão dinâmica”.

Como já citado anteriormente, a instalação de dutos deve se adaptar às condições de espaço do local de trabalho, sendo possível a adição de diversas particularidades no percurso do duto, como curvas, cotovelos, bifurcações, alargamentos e estreitamento, entre outros.

Para isto, é calculado as perdas usualmente para cada peça individualmente. Sendo necessário ter o conhecimento da velocidade de escoamento na respectiva peça, e então, é possível determinar a pressão dinâmica.

Figura 13. Peças especiais.



Fonte: OLIVEIRA (2013).

2.11.3. Pressão dinâmica

A pressão dinâmica consiste no aumento da pressão do fluido quando há uma resistência que faça com que ele tenha a tendência em parar. Com isso, pode-se constatar que está diretamente relacionado a velocidade de escoamento, é geralmente representada por h_v .

Para determinar a perda de carga consulta-se tabelas adequadas, para cada peça, dado isso, é determinado um coeficiente K, que ao multiplicar pelo h_v , é obtido a perda de carga.

A pressão dinâmica pode ser definida pela seguinte equação:

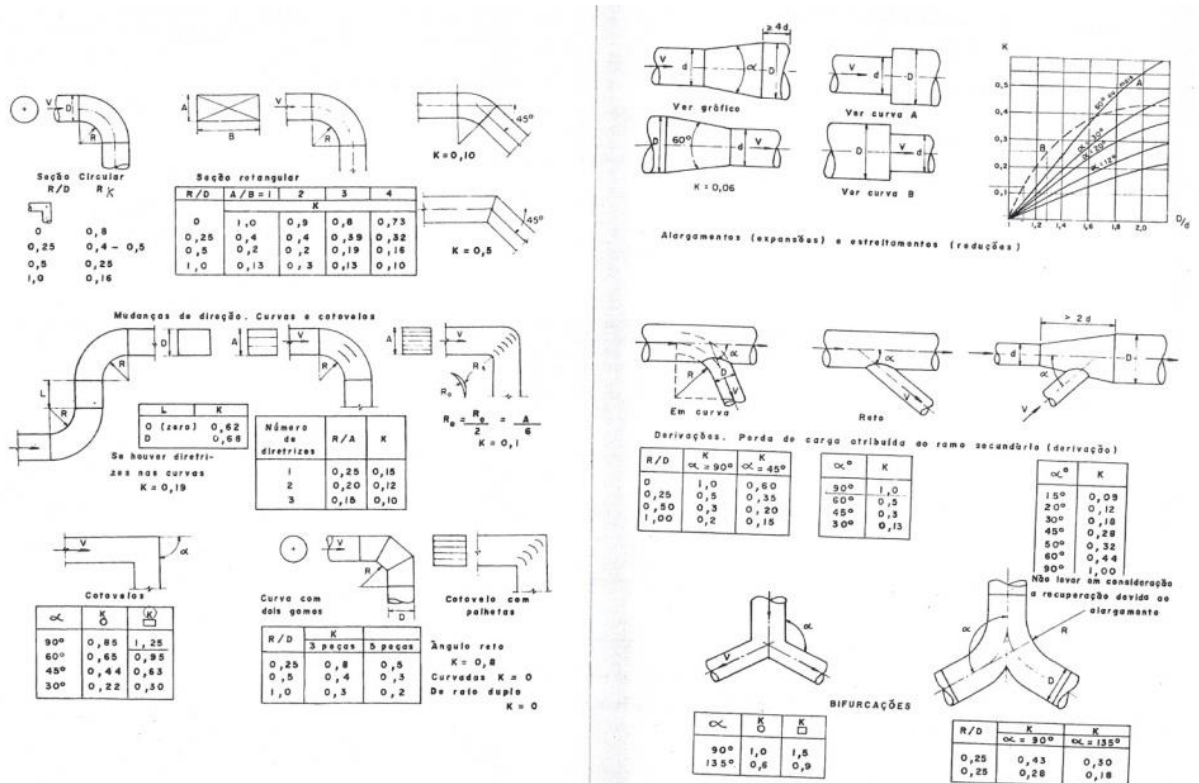
$$h_v = \frac{v^2}{16,34} \quad (6)$$

Em que:

h_v – Valor da pressão dinâmica, em mmH₂O;

A partir daí, determina-se um coeficiente K, obtido na (figura 14).

Figura 14. Coeficiente de perdas de cargas K. alguns tipos de peças especiais.



Fonte: MACINTYRE (1990).

Logo, para determinar a perda de carga utiliza-se a seguinte equação:

$$\Delta p = K \cdot h_v \tag{7}$$

Onde:

K – Coeficiente de perda de carga singular.

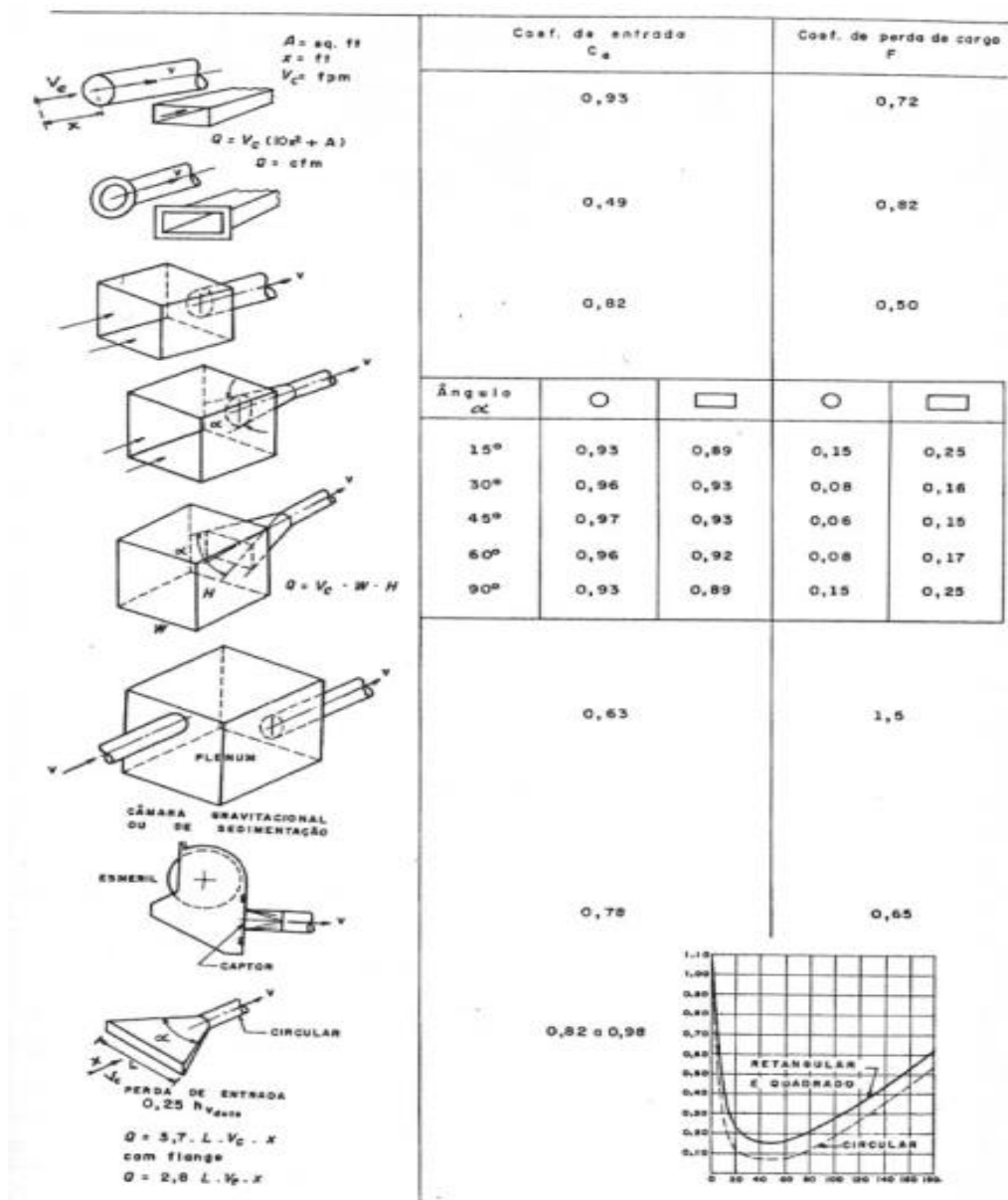
2.11.4. Coeficiente de entrada

Para que o fluido se desloque do ponto A para o B, parte da pressão estática é convertida em dinâmica, então no ponto B, ela é convertida novamente em pressão estática. Junto a essas conversões ocorre uma perda de carga de cerca de 2% da pressão estática, pois somente parte desta energia se transforma em pressão dinâmica. Quando ocorre a recuperação, a pressão dinâmica é convertida em pressão

estática, porém esta energia não é total, pois houve perda de carga durante o processo.

Com isso, há uma diminuição da vazão, esta que é caracterizada por um coeficiente C_e , é o chamado coeficiente de entrada. Tal coeficiente pode ser determinado através da (tabela 1).

Tabela 1. Coeficiente de Entrada e Fator de Perda de Carga, para captores convencionais.



Fonte: MACINTYRE (1990).

2.11.5. Perda de carga no captor

A perda de carga no captor é obtida pela multiplicação entre a pressão dinâmica h_v , e fator de perda de carga F , este que é característico pelo tipo de captor aplicado, sendo encontrado pela seguinte equação.

$$F = \frac{1 - C_e^2}{C_e^2} \quad (8)$$

Onde:

F – Coeficiente de perda de carga.

A partir daí, basta utilizar a equação para determinar a perda de carga

$$\Delta p = F \cdot h_v \quad (9)$$

2.12. DIMENSIONAMENTO DO CAPTOR

2.12.1. Vazão de exaustão

É designada pelo volume de ar carregado de gases poluentes originados pela fonte poluidora que irá adentrar ao captor, de modo que a vazão seja a mínima possível, desde que capte de forma total os poluentes. (LISBOA, 2007)

De forma geral, a vazão pode ser representada pela equação (1).

O grau de vazão é determinado principalmente pela forma do captor, neste aspecto, para captores com seção de abertura retangular ou circular, tem-se:

$$Q = V(10X^2 + A) \quad (10)$$

Onde:

Q = Vazão m³/s;

V = Velocidade em m/s;

X = Distância entre a fonte emissora e o eixo em metro;

A = Área de abertura do captor em metro quadrado.

Quando a distância x é maior que 1,5 do diâmetro do diâmetro do captor. Esta mesma fórmula é aplicada também para seções retangulares, na qual o comprimento seja 5 vezes menor que a largura. (MACINTYRE,1990).

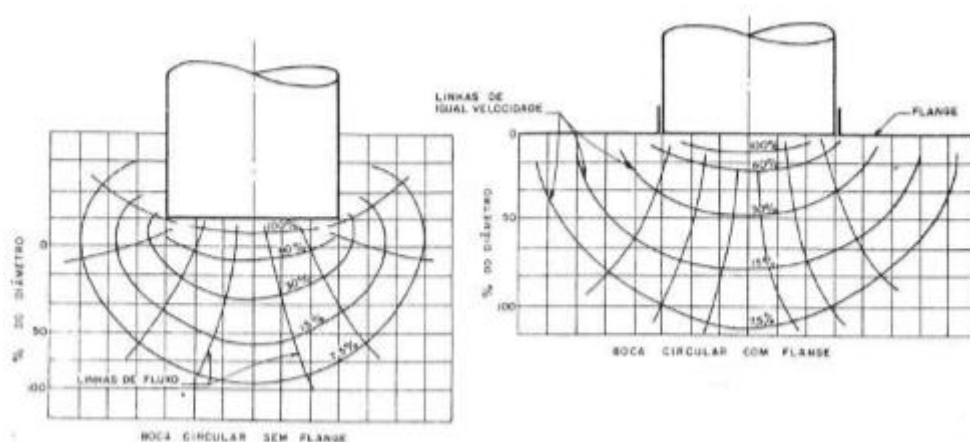
2.12.2. Captores com flange

Flange é uma superfície paralela à face do captor que promove uma barreira ao fluxo indesejado de gás para trás da entrada do captor. Estima-se, na prática, que o flange pode reduzir até 25% a taxa de vazão no captor. (AGCIH, 1998).

Captors podem apresentar uma zona de captação atrás da boca de entrada, o que é sanado com a instalação de flanges.

Nas imagens abaixo, observa-se na prática as linhas de fluxo da vazão de um captor com e sem flange:

Figura 15. À esquerda tem-se o exemplo de um captor sem flange, enquanto à direita, com flange. Nota-se que na ausência do flange, há uma zona por trás da boca de entrada, o que acarreta num atraso de captação de gás.

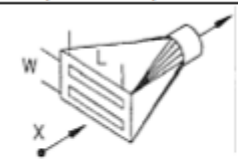
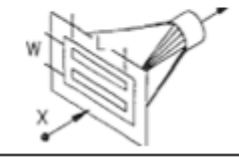


Fonte: MACINTYRE (1990).

2.12.3. Captores com frestas

Frestas são adicionadas aos captores com a finalidade de, assim como na aplicação dos flanges, reduzir a taxa de vazão do sistema. A taxa de diminuição irá depender da localização e tamanho das frestas instaladas. Para fins de cálculo de vazão.

Quadro 5. Fórmula de acordo com o tipo de captor e suas características.

Tipo de Captor	Característica	Fórmula
	Captor plano com 2 frestas ou mais	$Q = V(10X^2 + A)$
	Captor com flange com 2 frestas ou mais	$Q = 0.75V(10X^2 + A)$

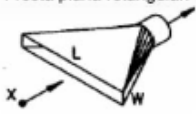



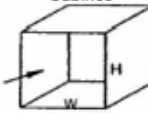

Fonte: ACGIH (1998).

Figura 16. Captor com frestas.



Fonte: https://cdn.shopify.com/s/files/1/1798/8979/products/zline-black-stainless-steel-wall-mounted-range-hood-bskbn24_side-baffles_50x@2x.jpg?v=1580416463

Quadro 6. Diversas fórmulas de vazão de acordo com tipos de captores.

Tipo de Captor	Relação W/L	Vazão
Fresta plana retangular. 	<0.2	$Q = 3,7LV_c$
Fresta plana retangular com flange. 	<0.2	$Q = 2,8LV_c$
Abertura plana retangular.  $A = Wb(Ft^2)$	>0.2	$Q = F(10X^2 + A)V_c$ Onde: F=1,0
Abertura plana retangular com flange. 	>0.2	$Q = F(10X^2 + A)V_c$ Onde F=0,75.
Cabines 	-	$Q = LV_c$
Captore tipo Coifas 	-	$Q = 1,4PDV_c$
Onde: W = Largura do captor. L = Comprimento do captor. X = Distância até a fonte contaminante. P = Perímetro da trabalho. D = Distância da coifa até o ponto de captura. V _c = Velocidade de captura na distancia X. A = Área da seção transversal do captor.		

Fonte: http://www.compositesusa.com/duct_class/duct_class_design_1.htm

Um captor de boa qualidade reúne uma série de requisitos para ter eficiência num sistema de exaustão. O correto dimensionamento de um captor assegura que ele absorva o máximo de contaminante possível através de uma menor abertura possível de entrada, de modo que seu funcionamento não impeça a movimentação natural do operário. Além disso, obviamente, o custo carrega uma parcela importante na questão da escolha de uma coifa, sendo importante questão considerar facilidade de limpeza, frequência e complexidade de manutenção. A seleção do captor ideal é determinada por uma série de fatores na qual o equipamento é aplicado, que varia desde o grau de toxicidade do contaminante, custo (como já citado), quantidade de perda de carga e condições operacionais, como espaço ocupado, que pode interferir no movimento de equipamentos e materiais (ASSUNÇÃO, 1989).

2.13. MATERIAL DOS DUTOS

A escolha do material aplicado no duto de ventilação é determinada diretamente pelo tipo de fluido utilizado, são utilizados:

- Materiais Plásticos: Confeccionados em forma cilíndrica, são indicados para situações em que os gases conduzidos agredem materiais de aço e alumínio. São caracterizados por possuir boa soldabilidade e permitir adaptação na instalação. Exemplos comuns são o PVC e o Polipropileno;
- Chapas de aço: Conforme (MACINTYRE, 1990), são divididos em 3 classes, Sendo elas:
 - Classe I: Material não-abrasivo;
 - Classe II: Material não-abrasivo, porém em elevada concentração e material abrasivo em fraca concentração;
 - Classe III: Material abrasivo em altas concentrações.

Quadro 7. Espessura de chapas galvanizadas de acordo com as classes.

Diâmetro		Bitola de chapa de aço (U.S. Standard)		
pol.	cm	Classe I	Classe II	Classe III
até 8	até 20,3	24	22	20
8 a 18	20,3 a 45,7	20	20	18
18 a 30	45,7 a 76,2	20	18	16
acima de 30	acima de 76,2	18	16	14

Fonte: MACINTYRE (1990).

Alumínio: São aplicados quando apresenta certa umidade, sistemas especiais de exaustão ou quando há a necessidade de dutos ornamentais. Tem como vantagens flexibilidade, resistência à corrosão (exceto ao sal), resistência a elevadas temperaturas e disponibilidade ampla. Suas desvantagens são: baixa resistência mecânica, custo elevado, soldabilidade e dilatação térmica.

Quadro 8. Dimensões nominais para dutos circulares de alumínio.

Diâmetro do duto (mm)		máximo 500 Pa (positivo estático)		máximo de 2500 Pa (positivo estático)	
		medida da costura espiral	medida da costura longitudinal	medida da costura espiral	medida da costura longitudinal
76	203	28	28	26	24
229	356	28	26	26	24
381	660	26	24	24	22
686	914	24	22	22	20
940	1270	22	20	20	20
1295	1524	20	18	18	18
1549	2134	18	16	18	16

Fonte: SANTOS (2006).

2.14. PURIFICAÇÃO DO AR

O ar contaminado com gases ou partículas de poeira deve ser removido antes que seja despejado na atmosfera, neste aspecto, esta purificação pode ser realizada através dos seguintes métodos conforme (MACINTYRE, 1990):

- Filtros: utilizado para reter e capturar poeiras e partículas no ar, garantindo uma melhor qualidade no ar que será liberado para a atmosfera. Podem ser do tipo: filtro de manga, carvão ativado, painéis compactados;
- Coletores de poeira: Captura quantidades maiores de poeira, com capacidade de coleta cerca de 100 à 20.000 vezes maior que os filtros convencionais;
- Lavadores de gases, condensadores, precipitadores: Promovem a remoção de gases antes da liberação ao meio ambiente. Em casos de purificação de vapor d'água, tratamento químico seguido por destilação ou decantação é recomendado caso esta água seja reaproveitada no setor industrial.

Figura 17. Lavador de gás.



Fonte: <https://www.ventcenter.com.br/assets/img/linha-industrial/lavador-gases/00.jpg>

Figura 18. Filtro de manga.



Fonte: <https://br.all.biz/img/br/catalog/73348.jpeg>

Embora existam diversos tipos de purificadores de gases ou substâncias indesejáveis, a escolha na utilização de determinado sistema de filtragem é partida do pressuposto da característica deste contaminante ou pelo grau de qualificação exigida.

As características do fluido são um requisito importante para a determinação da filtragem necessária. Contaminantes com alta concentração de poeira, por exemplo, devem passar por estágios sucessivos de filtragem, para não provocar um entupimento na rede de filtragem. Por outro lado, em fluidos com alta capacidade de combustão e alta solubilidade, por exemplo, são mais empregados o uso de lavadores.

2.15. VENTILADORES

Ventiladores são equipamentos capazes de promover o movimento de fluido através da energia cinética, tornando-o capaz de escoar ou fluir em tubulações. Os ventiladores utilizam do princípio de diferença de pressão para vencer as resistências de seu deslocamento, proporcionando uma fluidez adequada do fluido no sistema. O funcionamento dos ventiladores se dá a partir da rotação de um rotor caracterizado de pás que irão girar com o acionamento de um motor elétrico, promovendo o deslocamento de um fluido incompressível. O movimento de ar se dá por insuflamento ou exaustão, tendo em vista o objetivo de controlar a vazão e pressão do sistema, mantendo ruídos em níveis aceitáveis (MACINTYRE, 1990).

2.15.1. Ventiladores Centrífugos

Também chamados de ventiladores radiais, os ventiladores centrífugos são os mais utilizados em sistemas de ventilação de exaustão local, onde são responsáveis por fazer o deslocamento do ar através de um motor elétrico e um rotor dotado de pás. Permitem trabalhar com aplicações com ampla faixa de vazão e pressão. (LISBOA, 2007).

Os centrífugos são robustos e possuem uma gama de rendimentos e podem ser silenciosos ou não dependendo das características do rotor. Cada ventilador possui sua característica própria de funcionamento e características de fabricação, sendo possível classificá-los em diversas vertentes:

- Classificação por pressão:

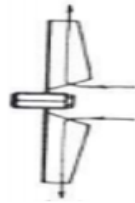
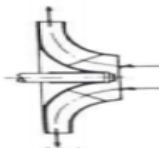
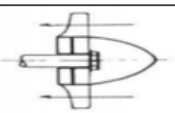
Tabela 2. Classificação por pressão.

Pressão baixa	Até 200 mmH ₂ O
Pressão média	de 200 a 800 mmH ₂ O
Pressão alta	de 800 a 2500 mmH ₂ O
Pressão muito alta	de 2500 a 10000 mmH ₂ O

Fonte: MACINTYRE (1990).

- Classificação por tipo modalidade construtiva:

Quadro 9. Tipo de ventilador.

Ventiladores	Características	Representação
Centrífugos	A trajetória de uma determinada partícula de gás se dá de forma normal ao eixo, se caracterizando como um espiral	
Hélico-centrífugos	O deslocamento da partícula se dá em formato de hélice sobre uma superfície cônica	
Axiais	Mesma característica anterior, porém descrita em uma superfície cilíndrica	

Fonte: AUTORES (2020).

- Classificação segundo a forma das pás, conforme (MACINTYRE,1990):
 - Pás inclinadas para trás: apresenta maior eficiência entre os centrífugos;
 - Pás retas inclinadas para trás: utilizado em média pressão para gases limpos;
 - Pás radiais: robusto que movimentam grandes cargas durante grandes trabalhos;
 - Pás curvadas para frente: bom rendimento e alta pressão (MACINTYRE, 1990).

Figura 19. Ventilador Centrífugo Industrial.



Fonte: <https://www.brasfaiber.com.br/wp-content/uploads/2019/08/ventilador-centrifugo-industria.jpg>

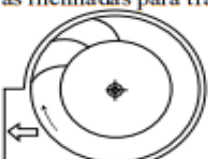


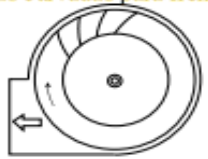



2.15.2. Ventiladores Axiais

Esses ventiladores são projetados para aplicações de baixa e média pressão, ou seja, são destinados a grandes vazões e baixas pressões (VILLAR, 2001).

Diferentemente dos centrífugos, o ar pode ser aspirado por um bocal e sair por um difusor e alguns podem possuir guias para a entrada de ar, de modo a direcionar o fluxo paralelamente ao eixo do duto. Nesse caso com guias, a vazão pode ser controlada por aletas de entrada ou por palhetas reguláveis (VILLAR, 2001).

A tabela a seguir mostra os tipos de ventiladores centrífugos e axiais.

Quadro 10. Característica dos ventiladores.

Ventiladores Centrifugos	Características Principais
<p>Pás inclinadas para trás</p> 	<p>Alto rendimento Sistemas de Aquecimento Ventilação Ar condicionado Ar limpo</p>
<p>Pás retas inclinadas para trás</p> 	<p>Rendimento um pouco inferior Mesma aplicações Usado em instalações industriais com ambientes corrosivos ou abrasivos</p>
<p>Pás Radiais</p> 	<p>Mais simples Menos eficiente Transporte de Materiais em Plantas inudstriais Tambem utilizado em aplicações de alta pressão.</p>
<p>Pás curvadas para frente</p> 	<p>Rendimento inferior que os anteriores (pás voltadas para trás) Contrução leve e de baixo custo Sistemas de aquecimento Ventilação Ar condicionado Fornalhas domesticas Centrais de ar condicionado Aparelhos de ar condicionado de janela.</p>
Ventiladores Axiais	Características Principais
<p>Propeller</p> 	<p>Baixo rendimento Hélice de construção barata Aplicações de baixa pressão Circuladores de ar Ventiladores de paredes</p>
<p>Tuboaxial</p> 	<p>Algo mais eficiente que o propeller Trabalha com maior pressão que o propeller Sistemas de aquecimento Ventilação e Ar-condicionado de baixa e media pressão. Aplicações industriais como fornos, cabines de pintura exaustão de gases</p>
<p>Vaneaxial</p> 	<p>Pode trabalhar com media e alta pressão Bom rendimento Sistemas de aquecimento Ventilação e Ar-condicionado Vantajosos para instalação compacta Ventilador esta em linha com os dutos.</p>

Fonte: VILLAR (2001).

Quadro 11. Classificação de ventiladores.

Tipo	Nº Estágios	Características	Nome
<i>Ventilador Radial ou Centrífugo</i>	1	Baixa pressão: Até 150 mmH ₂ O, D ₂ /D ₁ = 1,1 ~ 1,3	<i>Ventilador Centrífugo</i>
		Média pressão: até 250 mmH ₂ O, D ₂ /D ₁ = 1,3 ~ 1,6	<i>Ventilador Centrífugo</i>
		Alta pressão: Até 250 ~ 750 mmH ₂ O, D ₂ /D ₁ = 1,6 ~ 2,8	<i>Soprador</i>
	>1	Δp até 10 kgf/cm ² (100mtsH ₂ O) Até 12 rotores em série, D ₂ /D ₁ até 4.	<i>Compressor ou Turbocompressor</i>
<i>Ventilador Axial</i>	1	Hélice simples para movimentação de ar ambiente, ventilador de teto, ventilador de coluna. carcaça tubular envolve rotor único.	<i>Ventilador Helicoidal</i> <i>Tubo-axial</i>
	>1	Δp até 3,0 kgf/cm ² (30mtsH ₂ O)	<i>Turbocompressor</i>

Fonte: VILLAR (2001).

2.16. SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO

Quando se trata do local de trabalho, o conhecimento sobre saúde e segurança do trabalho tem um papel muito importante, pois o ambiente de trabalho pode ser comprometedora a estes dois aspectos, uma vez que, em um ambiente de trabalho é encontrado características de organização, relações interpessoais, manipulação ou exposição a agentes físicos, químicos, biológicos, situações de deficiência ergonômica ou riscos de acidentes. Deste modo, estes dois fatores abordados têm como finalidade:

- Prevenir os acidentes e as doenças decorrentes do trabalho;
- Melhorar o bem estar no ambiente de trabalho.

Figura 20. Representação promocional sobre saúde e segurança do trabalho.



Fonte: <https://www.contabeis.com.br/assets/img/news/fb0c25a9d026909f5b6e0946caf6b664.jpg?v=>

2.16.1. Saúde no trabalho

Como mencionado anteriormente, a melhora do bem estar no ambiente laboral, ou seja, a saúde no trabalho está diretamente ligado a performance da empresa, visto que, quando no ambiente ocupacional, o colaborador que apresentar algum distúrbio de saúde, conseqüentemente, irá gerar diversos problemas como:

- Queda de produtividade;
- Redução da qualidade no trabalho;
- Faltas e atraso no trabalho;
- Falta de comprometimento.

Desde modo, para que isto seja contornado, devem ser promovida estratégias para que possa prevenir possíveis problemas de saúde, como por exemplo, normativas de saúde, boas condições das instalações no ambiente de trabalho, realizar análises quanto a saúde psicológica e física de seus membros, incentivos quanto ao estilo de vida saudável e bem estar no trabalho.

2.16.2. Segurança no trabalho

A segurança do trabalho, consiste em um conjunto de fatores, que tem como objetivo estabelecer padrões de proteção para os funcionários, ou seja, prevenir doenças e acidentes no trabalho. Porém, quando se trata de rendimento, há uma visão de que este aspecto não é de grande importância, pois a primeiro momento não é visto o retorno que este investimento irá trazer. Entretanto, a segurança no ambiente de trabalho tem uma importância muito grande para uma empresa, porque quando se trata de segurança há diversos benefícios que são trazidos juntos a ela que, indiretamente, irá incidir na saúde financeira da mesma, como:

- Produtividade;
- Redução licenças e afastamentos por questões médicas;
- Evitar penalizações onerosas.

2.17. PROTEÇÃO COLETIVA E INDIVIDUAL

Há diversas medidas e equipamentos a disposição com a finalidade de prevenir acidentes e doenças decorrentes do trabalho, com o intuito de proporcionar a proteção de muitos trabalhadores em um mesmo local, além do maior rendimento operacional de trabalho, sendo mais vantajosos em relação a custo e durabilidade (MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL, 2016).

2.17.1. Equipamento de proteção

No ambiente industrial a utilização de equipamentos de proteção é dever de toda empresa, dado que, quando bem aplicados, podem garantir a integridade dos trabalhadores, além de prevenir possíveis acidentes.

Para isto, existem duas classes de equipamentos de proteção, são eles:

- Equipamento de Proteção Individual (EPI);
- Equipamento de proteção coletiva (EPC).

2.17.2. Equipamento de proteção individual (EPI)

Os EPI's são dispositivos, cujo a finalidade é garantir de forma individual a saúde e proteção do trabalhador, a utilização destes itens é prevista pela norma NR 6, que define que é direito do empregado, o fornecimento gratuito do mesmo para que possa ser realizado as respectivas funções dentro do ambiente laboral.

Neste artigo será abordado os EPI's referentes ao processo de decapagem, pois no caso referido há a manipulação do ácido clorídrico, que é um composto altamente perigoso, pois apresenta diversas variações de problemas quando em contato com uma pessoa. Desta forma, para escolher esses itens deve ser realizado análises dos riscos ocupacionais que estes trabalhadores podem sofrer. Com isso, reduzindo de forma drástica a ocorrência de acidentes, que possam retirar a capacidade de trabalho e na pior das hipóteses até a vida do indivíduo.

Abaixo são apresentados os referentes EPI's para o processo de decapagem:

- Óculos Panorâmico;
- Protetor auricular tipo concha ou plug;
- Botina;
- Capacete;
- Respirador 3M com filtros para odores e gases ácidos;
- Macacão de proteção química (Tyvek);
- Luvas de látex;
- Cinto de segurança do tipo paraquedas.

Figura 21. Óculos Panorâmico.



Fonte: https://http2.mlstatic.com/oculos-ampla-viso-protoco-seguranca-contra-utos-quimicos-D_NQ_NP_732291-MLB41653114803_052020-O.webp

Figura 22. Protetores Auriculares.



Fonte: <https://www.mapadaobra.com.br/wp-content/uploads/post/45i2yqnl.jpg>

Figura 23. Botina.



Fonte: <https://w1.ezcdn.com.br/superepi/fotos/grande/745fg1/botina-com-bico-de-composite-hes-fujiwara-ca-42165.jpg>

Figura 24. Capacete de Segurança.



Fonte: <https://cdn.leancommerce.com.br/grupobt/produtos/5260/6f38d901-c102-4e90-a81f-bd1e23151bb2-large-5260.jpg>

Figura 25. Respirador 3M.



Fonte <https://w1.ezcdn.com.br/superepi/fotos/grande/1408fg1/respirador-3m-6200-com-filtros-para-odores-e-gases-acidos.jpg>

Figura 26. Macacão de proteção química (Tyvek).



Fonte: https://www.dupont.com.br/content/dam/dupont/amer/us/en/personal-protection/public/images/products/Tychem_2000_QC127S_A0.JPG

Figura 27. Luvas de Látex.



Fonte: <https://w1.ezcdn.com.br/superepi/fotos/grande/1319fg1/luva-de-latex-silver-lalan-advansafety-azul-ca-39562.jpg>

2.17.3. Equipamento de proteção coletiva (EPC)

Os EPC's são os menos "famosos", quando se trata de equipamentos de proteção, porém não menos importantes, pois estão sempre presentes no recinto de trabalho. Estes itens têm como função, prevenir e proteger os colaboradores de forma coletiva, ou seja, todos de forma conjunta. As vantagens deles em relação ao EPI, é o seu rendimento e o maior conforto, pois não há necessidade de utilizar nenhum componente individualmente.

Como mencionado anteriormente, os itens que serão enfatizados neste artigo são para uma linha de decapagem, pois quando se trata de EPC's, semelhante ao EPI's, é necessária uma análise prévia para que possa ser estabelecido quais serão utilizados.

Na decapagem, os equipamentos de maior relevância para este fim são:

- Chuveiro com lava-olhos;
- Ventiladores e exaustores;
- Guarda-corpo;
- Placas de sinalização;
- Fitas zebradas;
- Extintores de incêndio;
- Cones;
- Dispositivos de bloqueio;

Figura 28. Chuveiro com lava olhos.



Fonte: <https://epimaisutil.com.br/wp-content/uploads/2014/04/cl-001-kit.jpg>

Figura 29. Guarda corpo.



Fonte: <http://techcomposites.com.br/wp-content/uploads/2018/04/02.png>

Figura 30. Placas de sinalização.



Fonte: <https://www.newsignscampinas.com.br/wp-content/uploads/2018/09/Sinaliza%C3%A7%C3%A3o-de-Seguran%C3%A7a-placas-ou-adesivos-New-Signs-Campinas-1200x600.jpg>

Figura 31. Fita zebraada.



Fonte:

http://images.tcdn.com.br/img/img_prod/406161/fita_zebrada_de_sinalizacao_amarelo_e_preto_tamanho_70mm_x_200m_1113_1_20151104094419.jpg

Figura 32. Extintores.



Fonte: http://www.sanachama.com.br/sites/default/files/blog/extintores-de-incendio_10427_475531530731623301_cover_0.jpg

Figura 33. Cones.

Fonte: https://www.solucoesindustriais.com.br/images/produtos/imagens_326/thumbnails/350/cones-de-sinalizacao_0.jpg

Figura 34. Dispositivos de Bloqueio.

Fonte: https://http2.mlstatic.com/bloqueio-eletrico-e-travamento-mecnico-kit-personalizavel-D_NQ_NP_892449-MLB27325778506_052018-F.webp

2.18. NORMAS REGULAMENTADORAS

As normas regulamentadoras têm como função regulamentar padrões de procedimentos e operações com o intuito de proteger à segurança e saúde do trabalhador. Estas normas, são elaboradas diferentemente em cada país, porém sempre com a mesma finalidade, que é a segurança.

Neste artigo, serão abordadas as normas vigentes no Brasil, cujo intuito é limitar a concentração de partículas presentes no ambiente, considerando a média da

jornada de trabalho e os valores máximos permitidos. As normas presentes no país são:

- NR 9 - Programa de prevenção de riscos ambientais;
- NR 15 - Atividades e operações insalubres.

2.18.1. NR 9- Programa de prevenção de riscos ambientais

A norma regulamentadora – NR 9 tem o objetivo de preservar a saúde e integridade dos trabalhadores mediante à aplicação de uma ferramenta de prevenção e controle dos riscos ambientais no ambiente de trabalho, o PPRA. A NR 9 estabelece a obrigatoriedade da elaboração e implementação do PPRA por parte dos empregadores que admitam trabalhadores para garantir a integridade dos empregados.

Dessa forma, o programa de prevenção de riscos ambientais é importante para avaliar e controlar a ocorrência dos riscos ambientais existentes, seja qualquer tipo de empresa, ou que possam a vir ocorrer no ambiente de trabalho e que dependerá dos tipos de riscos e das necessidades de controle. Além de preservar a saúde dos empregados, a aplicação do programa de prevenção visa a integridade do meio ambiente e dos recursos naturais.

Uma vez elaborado e implementado, deve-se realizar, ao menos anualmente, uma avaliação global do PPRA do seu desenvolvimento, a fim de verificar se existe a necessidade de realizar novos ajustes e estabelecer novas prioridades e metas.

As etapas necessárias para o desenvolvimento do PPRA são:

- Prever e reconhecer os riscos;
- Definição das metas e prioridades de avaliação e controle;
- Análise dos riscos mediante a exposição dos trabalhadores;
- Elaboração de medidas de controle e análise profunda de sua eficácia;
- Vigilância da exposição dos riscos;
- Registro e publicação dos dados.

A utilização do equipamento de proteção individual – EPI é uma das medidas adotadas quando as medidas de proteção coletiva não são suficientes ou estão em fase de planejamento, desde que seja comprovada a ineficácia das medidas de proteção coletiva. Além disso, a NR 9 prevê a responsabilidade dos empregadores em realizar treinamentos oferecidos dentro do PPRA para seus empregos a respeito dos riscos das atividades do ambiente de trabalho.

2.18.2. NR 15- Atividades e operações insalubres

A NR 15 tem como finalidade estabelecer limites de tolerância do trabalhador a condições consideradas insalubres (que causam doença), sejam elas, exposição a ruídos, radiações ionizantes e não-ionizantes, ao calor e frio, vibrações, umidade, agentes químicos e biológicos,...etc. Neste contexto, são definidos três graus de exposição, de modo que, o trabalhador possa ser assegurado com um adicional, incidente sobre o salário-mínimo dele. São eles:

- 40%, para insalubridade de grau máximo;
- 20%, para insalubridade de grau médio;
- 10%, para insalubridade de grau mínimo.

Neste artigo será enfatizado, os agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho, disposta no anexo XI da NR 15, cujo a finalidade é definir os limites de exposição de determinados agentes químicos, quando em contato com a pele ou através de vias respiratórias durante o período laboral. Os valores de tolerância estabelecidos são, conforme (quadro 12):

Quadro 12. Limites de Tolerância.

AGENTES QUÍMICOS	Valor teto	Absorção também p/pele	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
			ppm*	mg/m3**	
Acetaldeído			78	140	máximo
Acetato de cellosolve		+	78	420	médio
Acetato de éter monoetilico de etileno glicol (vide acetato de cellosolve)			-	-	-
Acetato de etila			310	1090	mínimo
Acetato de 2-etoxi etila (vide acetato de cellosolve)			-	-	-
Acetileno			Asfixiante	simples	-
Acetona			780	1870	mínimo
Acetonitrila			30	55	máximo
Ácido acético			8	20	médio
Ácido cianídrico		+	8	9	máximo
Ácido clorídrico	+		4	5,5	máximo
Ácido crômico (névoa)			-	0,04	máximo
Ácido etanoico (vide ácido acético)			-	-	-
Ácido fluorídrico			2,5	1,5	máximo
Ácido fórmico			4	7	médio
Ácido metanoico (vide ácido fórmico)			-	-	-
Acrilato de metila		+	8	27	máximo
Acrlonitrila		+	16	35	máximo
Alcool isoamílico			78	280	mínimo
Alcool n-butílico	+	+	40	115	máximo
Alcool isobutílico			40	115	médio
Alcool sec-butílico (2-butanol)			115	350	médio
Alcool terc-butílico			78	235	médio
Alcool etílico			780	1480	mínimo
Alcool furfúrico		+	4	15,5	médio
Alcool metil amílico (vide metil isobutil carbinol)			-	-	-
Alcool metílico		+	156	200	máximo
Alcool n-propílico		+	156	390	médio
Alcool isopropílico		+	310	765	médio
Aldeído acético (vide acetaldeído)			-	-	-
Aldeído fórmico (vide formaldeído)			-	-	-
Amônia			20	14	médio
Amido sulfuroso (vide dióxido de enxofre)			-	-	-
Amilina		+	4	15	máximo
Argônio			Asfixiante	simples	-
Arsina (arsenamina)			0,04	0,16	máximo
Benzene	<i>(Excluído pela Portaria n.º 03, de 10 de março de 1994)</i>				
Brometo de etila			156	695	máximo
Brometo de metila		+	12	47	máximo
Bromo			0,08	0,6	máximo
Bromoetano (vide brometo de etila)			-	-	-
Bromofórmio		+	0,4	4	médio
Bromometano (vide brometo de metila)			-	-	-
1,3 Butadieno			780	1720	médio
n-Butano			470	1090	médio
n-Butano (vide álcool n-butílico)			-	-	-
sec-Butanol (vide álcool sec-butílico)			-	-	-
Butanona (vide metil etil cetona)			-	-	-
1-Butanotiol (vide butil mercaptana)			-	-	-
n-Butilamina	+	+	4	12	máximo
Butil cellosolve		+	39	190	médio
n-Butil mercaptana			0,4	1,2	médio

Fonte: http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15_anexoXI.htm

2.19. CAUSAS DA EXPOSIÇÃO AOS AGENTES QUÍMICOS DECORRENTES DO PROCESSO DE DECAPAGEM AO SER HUMANO

2.19.1. Ácido clodrídrico

Quando se trata do processo de decapagem deve se levar em consideração a concentração ideal do ácido clodrídrico no ambiente, para que os trabalhadores possam ser expostos por 8 horas diárias sem que seja prejudicial a saúde. Quando em contato ao ser humano, o HCl pode causar diversos danos ao indivíduo. Conforme a tabela 3 (OSWALDO CRUZ, 2003) estabelece, os seguintes problemas podem ser desenvolvidos quando o mesmo é exposto ao ser humano, são eles:

Tabela 3. Sintomas consequentes do contato ao ácido clodrídrico.

Tipo de contato	Consequências
Por ingestão	Corrosão da boca, e trato gastrointestinal com vomitos, hematemese, diarréia, colapso circulatório e morte
Por inalação	Irritação do trato respiratório superior
Contato com a pele	Irritação
Com os olhos	Irritação e possível cegueira
Exposição crônica	Dermatite, conjuntivite, gastrite, fotosensibilização, erosão dos dentes e sangramento do nariz e gengiva

Fonte: OSWALDO CRUZ (2003).

2.19.2. Cloreto férrico

O cloreto ferroso consiste em um composto químico muito presente na indústria, cujo a formula é $FeCl_3$. No processo de decagem, o ácido clodrídrico reage junto ao metal, formando o chamado cloreto férrico. Com isso, sabe-se que a exposição do mesmo pode ser prejudicial à saúde, visto que, quando inalado, pode causar irritação nos olhos, nariz e garganta, e em longos períodos, causa descoloração conjuntiva. Em casos de ingestão agrava-se de forma mais aguda, com

o desenvolvimeto de sintomas como irritação da boca e estômago e possíveis dores abdominais, vômito, diarréia, variações de pulsação e baixa pressão sanguínea.

2.19.3. Cloreto ferroso

Outro elemento originário da reação entre o ácido clorídrico e o aço, é o cloreto ferroso, conhecido pela fórmula FeCl_2 , semelhante ao cloreto ferrico é um elemento com uma presença muito grande junto a indústria. Desta forma, quando se trata de decapagem, a presença deste composto deve ser levada em consideração, pois o cloreto ferroso pode causar alguns malefícios ao ser humano muito similares ao FeCl_3 .

2.20. COMPOSIÇÃO DO AR

Sabe-se que o ar atmosférico é composto por diferentes tipos de componentes, podendo ser uma mistura gases, vapor d'água, microorganismos e impurezas. Contudo, existem alguns predominantes na atmosfera, conforme (tabela 4) e (figura 35), são eles:

Tabela 4. Composição do ar.

Substâncias	Ar externo seco	
	% em volume	% em peso
Nitrogênio, gases raros, hidrogênio	79,00	76,80
Oxigênio	20,97	23,16
CO_2 (dióxido de carbono)	0,03	0,04

Fonte: MACINTYRE (1990).

Figura 35. Representação gráfica da composição do ar atmosférico.



Fonte: <https://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo/images/composicao-do-ar.jpg>

Quando se trata de situações em que há a presença de pessoas no local, esta concentração se apresenta de forma distinta, tendo alguns outros componentes com maior presença. Conforme (MACINTYRE, 1990), sendo considerado uma umidade de 50% a 21°C, haverá a presença abundante de:

Tabela 5. Concentração de componentes no ar, quando há a presença de pessoas.

Componente	Quantidade em %
Nitrogênio, hidrogênio e gases raros	78
Oxigênio	20,69
CO ₂	0,06
Vapor d'água	1,25

Fonte: MACINTYRE (1990).

Segundo (MACINTYRE, 1990), mesmo quando se trata de um ambiente com o ar puro, há presença de pequenas partículas de poeira de origem animal, vegetal e mineral, que podem ou não desagradar o olfato.

Deste modo, concentrações acima de certos limites tendem a constituir contaminantes, que podem causar danos saúde humana e ao meio ambiente. A tabela 3 abaixo apresenta os limites considerados fatais de alguns elementos:

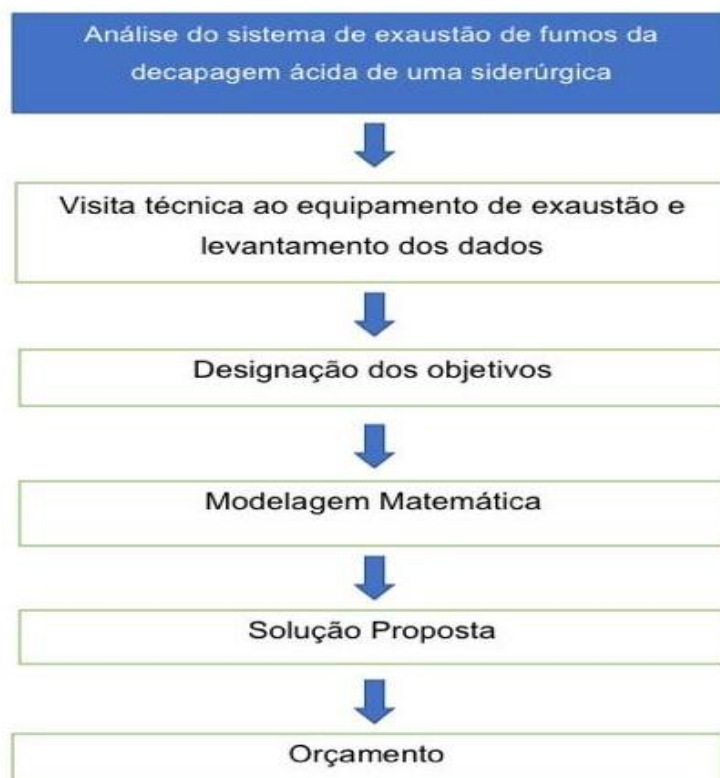
Tabela 6. Concentrações consideradas fatais em ppm.

Dióxido de carbono (CO ₂)	100.000
Dióxido de enxofre (SO ₂)	400
Amônia (NH ₃)	750
Gás sulfídrico (H ₂ S)	750
Ácido clorídrico (HCl)	500
Óxidos de nitrogênio (NO + NO ₂)	250
Ácido fluorídrico	100

Fonte: MACINTYRE (1990).

3. METODOLOGIA

A seguir será demonstrado, em uma sequência de etapas, um fluxograma do estudo de caso que será desenvolvido para o objetivo deste trabalho, etapas que serão fundamentais para analisar a eficiência do sistema de exaustão e, com isso, promover melhorias a fim de obter um ar salubre para as pessoas e evitar a contaminação do meio ambiente.

Figura 36. Fluxograma da metodologia.

Fonte: AUTORES (2020).

3.1. VISITA TÉCNICA AO SISTEMA DE EXAUSTÃO DE FUMOS

Após realizar uma visita técnica na empresa siderúrgica, mais precisamente na seção de decapagem ácida, onde estão instalados os tanques ácidos, tanques de emergência, tanque de água residual e a seção de lavagem, percebe-se a presença de gases e vapores ácidos através do forte cheiro de ácido clorídrico e pela visão, onde eles se concentram no ambiente interno do galpão.

A visita técnica é realizada com a ajuda de um engenheiro para o conhecimento do sistema de exaustão, utilizando catálogos, desenhos e através de perguntas aos operadores do processo, que acompanham diariamente os tanques químicos, sistema de exaustão e a seção de lavagem, a fim de entender o processo e as anomalias para a busca de melhorias que trarão melhores condições de trabalho e saúde para os colaboradores e a vizinhança próxima à siderúrgica.

3.2. DESIGNAÇÃO DOS OBJETIVOS

Um estudo sobre a eficiência do sistema de exaustão será feito juntamente com a análise econômica para ver a questão da viabilidade da sugestão de melhoria devido ao atual cenário econômico mundial.

O objetivo é voltado para garantir um ar salubre para os trabalhadores em geral e, até mesmo para os visitantes, com foco na eficiência da captação dos gases e vapores gerados no processo, e do estudo de possíveis melhorias que poderão ser implementadas no sistema.

3.3. MODELAGEM MATEMÁTICA

Para que o estudo de caso sobre o sistema de exaustão seja feito, será preciso obter, através de cálculos, a vazão necessária para atingir valores toleráveis de modo que não prejudique a saúde dos colaboradores e visitantes dispostos no interior do galpão.

A metodologia de cálculo será realizada através de livros, consulta a professores, fichas técnicas, artigos, software e consulta à internet.

3.4. SOLUÇÃO PROPOSTA

Será proposta uma solução após a análise do estudo de caso, que deverá levar em consideração o fator econômico.

3.5. ORÇAMENTO

Nesta seção, será feita uma comparação entre os valores dos componentes do sistema de exaustão atual, com os valores da nova proposta, caso seja necessário. É imprescindível a encontrar uma solução viável e com resposta ao problema exposto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ESTUDO DE CASO

4.1.1. Situação Encontrada

Ao realizar as visitas técnicas para o estudo de caso, observou-se a emissão de gases do contaminante dos tanques que acabam ocupando grande parte do ambiente próximo à seção de decapagem, afetando pessoas e equipamentos próximos.

Durante a visita, também foi observado o efeito do escape dos gases ácidos porque há presença de corrosão nos corrimões, guarda-corpos e equipamentos que se encontram em situação precária, mesmo com atuação do sistema de exaustão.

Além disso, há relatos de reclamações dos colaboradores que executam atividades rotineiras de manutenção, reclamações a respeito do forte cheiro de ácido clorídrico e irritações nos olhos e da pele.

A constatação da situação precária do ventilador levanta algumas considerações a serem analisadas juntamente com o estudo de caso do tema proposto.

4.1.2. Evidências do Estado de Conservação do Ventilador

O ventilador encontra-se deteriorado, na qual as consequências do ataque agressivo do ácido levaram à degradação do equipamento, pois percebe-se na carcaça do ventilador e no eixo do rotor a presença do ácido.

Figura 37. Estado de conservação do Ventilador.



Fonte: AUTORES (2020).

4.1.3. Ineficiência da Captação do Sistema

O sistema se mostra ineficiente pois, conforme mostrado na figura a seguir, há vários efeitos de uma captação não satisfatória.

Figura 38. Efeitos da ineficiência do sistema de exaustão.



Fonte: AUTORES (2020).

4.1.4. Componentes do Sistema de Exaustão

Neste tópico, serão apresentados os tanques e os componentes para o conhecimento do sistema de exaustão da seção de decapagem de uma indústria siderúrgica z.

Figura 39. Lavador de Gás.



Fonte: AUTORES (2020).

Figura 40. Cadeira Corretora e Seção de Lavagem.



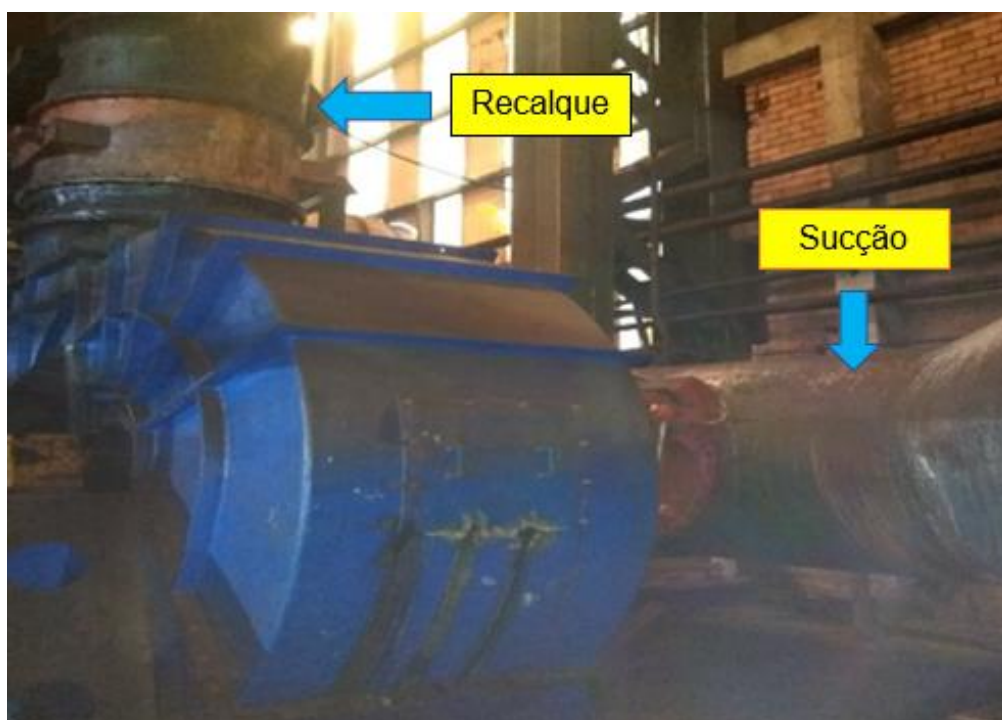
Fonte: AUTORES (2020).

Figura 41. Tanques de Decapagem.



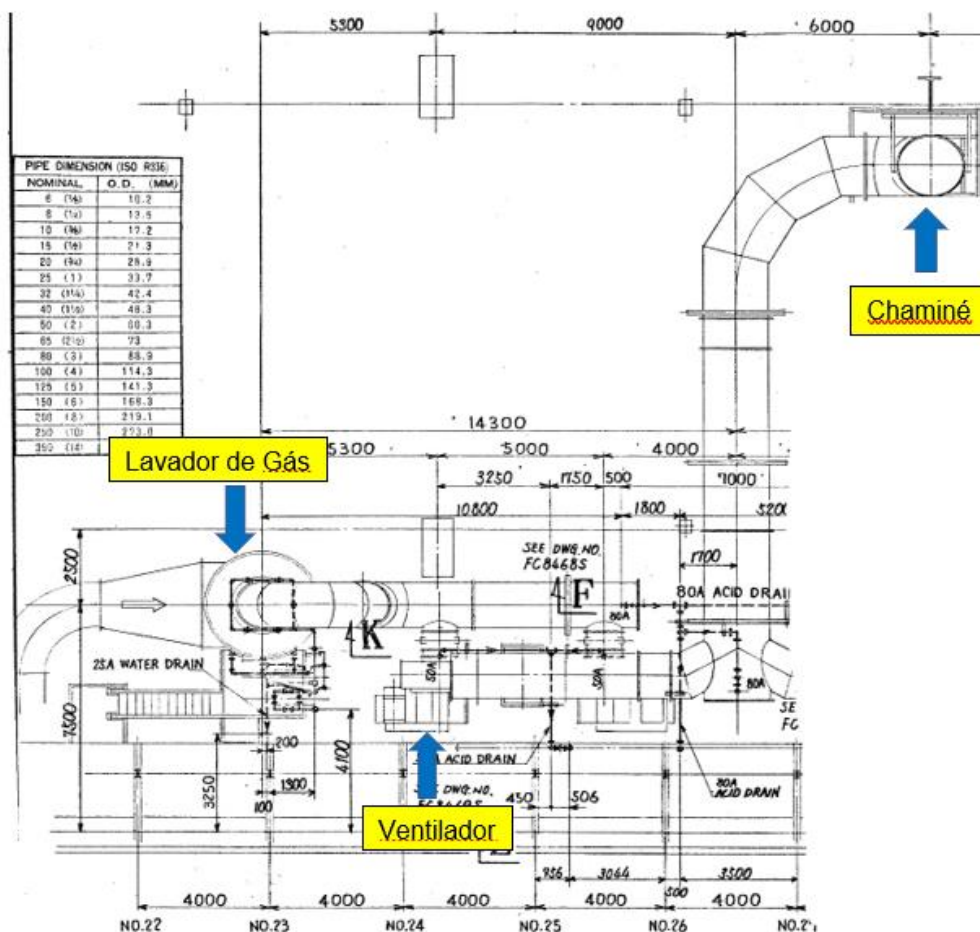
Fonte: AUTORES (2020).

Figura 42. Ventilador Centrífugo.



Fonte: AUTORES (2020).

Figura 43. Desenho do Sistema de Exaustão do Lavador até à Chaminé.

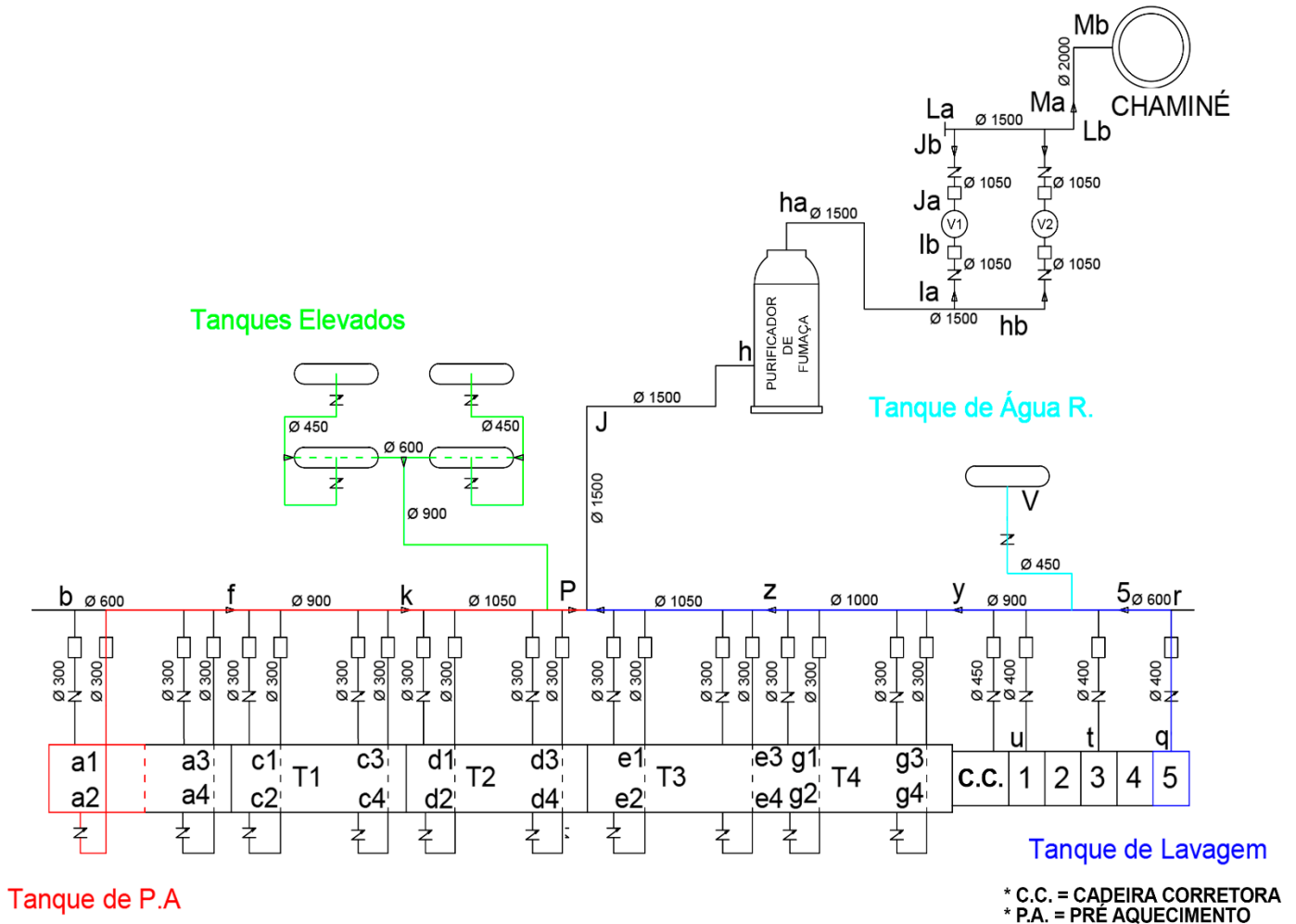


Fonte. Empresa Z (2020).

4.1.5. Sistema de exaustão da linha de decapagem ácida

O esquema baixo é referente ao sistema de exaustão de uma linha de decapagem ácida, onde pode-se observar na parte inferior, toda a linha de beneficiamento responsável pela decapagem ácida de materiais metálicos. Nota-se também que na parte inferior, as partes destacadas em azul e vermelho são referentes, respectivamente, ao sistema do tanque de lavagem e ao sistema do tanque de P.A. (Preaquecimento). Na parte superior do desenho, é possível visualizar, em destaque verde, o sistema dos tanques elevados que contêm o ácido regenerado que abastece as linhas de decapagem. Todo o sistema de tanques parte do ponto P, até ao purificador de fumaças, onde os resíduos são tratados permitindo assim que a fumaça do sistema se encaminhe para os ventiladores e posteriormente sejam eliminadas na atmosfera pela chaminé.

Figura 44. Desenho do sistema de exaustão da linha de decapagem ácida.



Fonte: AUTORES (2020).

4.2. MODELAGEM MATEMÁTICA

Nesta seção, será demonstrado o desenvolvimento do cálculo para atingir o objetivo deste trabalho. O memorial apresenta o cálculo da vazão necessária para a captação dos gases e a perda de carga do sistema. A partir disso, será feito um comparativo com os valores disponíveis do ventilador instalado, ou seja, será feita uma comparação entre os valores requeridos com os disponíveis para estudar a eficiência do ventilador do sistema.

4.2.1. Dados do Fabricante

Figura 44. Especificações técnicas do fabricante.

ANEXO A - FOLHA DE DADOS DO EXAUSTOR		
1- APLICAÇÃO		
01	Área	Decapagem Contínua 03
02	Sub-Área	Exaustão
03	Sistema	Sistema de Exaustão dos Tanques
OS DADOS NÃO PREENCHIDOS DEVERÃO SER COMPLETADOS PELO FORNECEDOR		
2- CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO		
04	Uso	() Insuflamento (X) exaustão
05	Operação	(X) Contínua () Intermitente
06	Fluido	AR + Vapor de HCl
07	Temperatura de operação	50 °C
08	Altitude	375 m
09	Pressão atmosférica	100 KPa
10	massa específica nas condições de operação	Kg/m ³
11	Vazão nas condições de operação	1.274 m ³ /min
12	Pressão Estática (condição de operação)	210 mmca
13	Pressão total (condição de operação)	KPa
14	Sentido de fluxo	() do motor para hélice () da hélice para o motor
15	Sentido de rotação	() horário () anti-horário

Fonte: Catálogo LCI ventiladores.

$$Q_{\text{dispon}} = \pm 5\% \text{ de } 1274 \text{ m}^3/\text{min}.$$

4.2.2. Vazão de captura

Para que seja possível dimensionar o sistema, é necessário que seja definida a vazão de captura, com isso, há a necessidade de se definir qual velocidade de captação adotar. Deste modo, para evaporação de tanques, é recomendado velocidades entre 75 e 100 fpm, conforme (quadro 13) da ACGHI.

Quadro 13. Velocidades de captura recomendada.

Energy of dispersion	Examples	V, ft/min
Little motion	Evaporation from tanks, degreasing	75–100
Average motion	Intermittent container filling; low speed conveyor transfers; welding; plating; pickling	100–200
High	Barrel filling; conveyor loading; crushers	200–500
Very high	Grinding; abrasive blasting; tumbling	500–2000

Factors affecting choices within ranges
Strength of cross-drafts due to makeup air, traffic, etc.
Need for effectiveness in collection: toxicity of contaminants produced by the source exposures from other sources, which reduces acceptable exposure from this source quantity of air contaminants generated – production rate, volatility, time generated
* see also ANSI Z9.2–1979

Fonte: ACGIH,2010.

A velocidade de captura adotada será:

$$V_c = 75 \text{ fpm}$$

- Vazão de captura no preaquecedor e no tanque de decapagem

$$W = 3,01 \text{ m}$$

$$H = 2,438 \text{ m}$$

Determinando a vazão temos:

$$Q = WHV_c = 3,01 * 2,438 * (75 * 0,3048 * 60) = 10065,26 \text{ m}^3/\text{h}$$

Vazão de captura no tanque de lavagem

$$W = 2,896 \text{ m}$$

$$H = 2,123 \text{ m}$$

Determinando a vazão, temos:

$$Q = WHV_c = 2,896 * 2,123 * (75 * 0,3048 * 60) = 8432,83 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Vazão de captura no tanque de lavagem residual e elevados

$$D = 3,1 \text{ m}$$

Determinando a vazão temos:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} V_c = \frac{\pi * 3,1^2}{4} * (75 * 0,3048 * 60) = 10352,33 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Vazão de captura na cadeira corretora

$$W = 2,896 \text{ m}$$

$$H = 2,5 \text{ m}$$

Determinando a vazão temos:

$$Q = WHV_c = 2,896 * 2,5 * (75 * 0,3048 * 60) = 9930,32 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Vazão total do Sistema

$$\begin{aligned} Q_{req} &= (3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + (5 * 10065,26) + (4 * 10352,33)] \\ &= 137317 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

4.2.3. Dimensionamento dos dutos

Para que os diâmetros sejam determinados, deve-se conhecer a velocidade de escoamento no duto. A AGCHI admite qualquer velocidade desejada de escoamento para de vapores, conforme o (quadro 14), todavia, será admitido velocidades próximas a 20 m/s, para que atenda ao máximo o arranjo original do projeto e minimamente condições de conforto para os operadores.

Quadro 14. Faixa de velocidades mínimos de projeto do duto.

Nature of Contaminant	Examples	Design Velocity
Vapors, gases, smoke		Any desired velocity (economic optimum velocity usually 1000–2000 fpm)
Fumes, metal smokes	Welding	2000–2500 fpm
Very fine light dust	Cotton lint, wood flour, litho powder	2500–3000 fpm
Dry dusts & powders	Fine rubber dust, Bakelite molding powder dust, jute lint, cotton dust, shavings (light), soap dust, leather shavings	3000–3500 fpm
Average industrial dust	Grinding dust, buffing lint (dry), wool jute dust (shaker waste), coffee beans, shoe dust, granite dust, silica flour, general material handling, brick cutting, clay dust, foundry (general), limestone dust, packaging and weighing asbestos dust in textile industries	3500–4000 fpm
Heavy dusts	Sawdust (heavy and wet), metal turnings, foundry tumbling barrels and shake-out, sand blast dust, wood blocks, hog waste, brass turnings, cast iron boring dust, lead dust	4000–4500 fpm
Heavy or moist dusts	Lead dusts with small chips, moist cement dust, buffing lint (sticky), quick-lime dust	4500 fpm and up

Fonte: ACGIH, 2010.

- Diâmetros dos dutos das saídas do tanque de Preaquecimento e de decapagem

Nº de saídas por tanque: 4 saídas

Vd = 10m/s

$$S = \frac{10065,26}{3600 * 10 * 4} = 0,069898 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,069898}{\pi}} = 0,298323 = 298,3 \text{ mm}$$

Obtendo a velocidade corrigida para d = 300 mm, temos:

$$V = \frac{10065,26 * 4}{3600 * 4 * \pi * 0,3^2} = 9,89 \text{ m/s}$$

- Diâmetro do duto da saída do tanque de lavagem

Nº de saídas por tanque: 1 saídas

Vd = 20m/s

$$S = \frac{8432,83}{3600 * 20 * 1} = 0,117123 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0,117123}{\pi}} = 0,386167 = 386,2 \text{ mm}$$

Com isso, pode se adotar um diâmetro de 400mm

Obtendo a velocidade corrigida, para $d = 400 \text{ mm}$, temos:

$$V = \frac{8432,83 * 4}{3600 * 1 * \pi * 0,4^2} = 18,64 \text{ m/s}$$

- Diâmetro dos dutos das saídas do tanque de lavagem residual e elevados

Nº de saídas por tanque: 1 saídas

$V_d = 20 \text{ m/s}$

$$S = \frac{10352,33}{3600 * 20 * 1} = 0,143782 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0,143782}{\pi}} = 0,427866 = 427,9 \text{ mm}$$

Com isso, pode se adotar um diâmetro de 450mm

Obtendo a velocidade corrigida, para $d = 450 \text{ mm}$, temos:

$$V = \frac{10352,33 * 4}{3600 * 1 * \pi * 0,45^2} = 18,08 \text{ m/s}$$

- Diâmetro do duto da saída da cadeira corretora

Nº de saídas por tanque: 1 saídas

$V_d = 20 \text{ m/s}$

$$S = \frac{9930,32}{3600 * 20 * 1} = 0,137921 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0,137921}{\pi}} = 0,419054 = 419 \text{ mm}$$

Com isso, pode se adotar um diâmetro de 450mm

Obtendo a velocidade corrigida para $d = 450 \text{ mm}$, temos:

$$V = \frac{9930,32 * 4}{3600 * 1 * \pi * 0,45^2} = 17,34 \text{ m/s}$$

Determinando os diâmetros dos dutos principais

- TRECHO B-F

Vd = 10m/s

$$S = \frac{10065,26}{3600 * 10} = 0,2795905 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,2795905}{\pi}} = 0,596645 = 596,6 \text{ mm}$$

Obtendo a velocidade corrigida para o diâmetro adotado de d = 600 mm, temos:

$$V = \frac{10065,26 * 4}{3600 * \pi * 0,6^2} = 9,89 \text{ m/s}$$

- TRECHO F-K

Vd = 10m/s

$$S = \frac{2 * 10065,26}{3600 * 10} = 0,559781 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,559781}{\pi}} = 0,843784 = 844 \text{ mm}$$

Obtendo a velocidade corrigida para o diâmetro adotado de d = 900 mm, temos:

$$V = \frac{2 * 10065,26 * 4}{3600 * \pi * 0,9^2} = 8,79 \text{ m/s}$$

- TRECHO K-P

Vd = 20m/s

$$S = \frac{(3 * 10065,26) + (4 * 10352,33)}{3600 * 20} = 0,994515 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,994515}{\pi}} = 1,12528 = 1125,3 \text{ mm}$$

Obtendo a velocidade corrigida para o diâmetro adotado de $d = 1050$ mm, temos:

$$V = \frac{[(3 * 10065,26) + (4 * 10352,33)] * 4}{3600 * \pi * 1,05^2} = 22,97 \text{ m/s}$$

- TRECHO R-S

$$Vd = 10 \text{ m/s}$$

$$S = \frac{8432,829}{3600 * 10} = 0,117123 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,117123}{\pi}} = 0,546123 = 546,1 \text{ mm}$$

Obtendo a velocidade corrigida para o diâmetro adotado de $d = 600$ mm, temos:

$$V = \frac{8432,829 * 4}{3600 * \pi * 0,6^2} = 8,28 \text{ m/s}$$

- TRECHO S-Y

$$Vd = 20 \text{ m/s}$$

$$S = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32] * 4}{3600 * 20} = 0,633071 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,633071}{\pi}} = 0,897804 = 897,8 \text{ mm}$$

Obtendo a velocidade corrigida para o diâmetro adotado de $d = 900$ mm, temos:

$$V = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32] * 4}{3600 * \pi * 0,9^2} = 19,9 \text{ m/s}$$

- TRECHO Y-Z

$$Vd = 20 \text{ m/s}$$

$$S = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + 10065,26] * 4}{3600 * 20} = 0,772867 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,772867}{\pi}} = 0,99199 = 991,99 \text{ mm}$$

Obtendo a velocidade corrigida para o diâmetro adotado de $d = 1000 \text{ mm}$, temos:

$$V = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + 10065,26] * 4}{3600 * \pi * 1^2} = 19,68 \text{ m/s}$$

- TRECHO Z-P

$$Vd = 20 \text{ m/s}$$

$$S = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + (2 * 10065,26)] * 4}{3600 * 20} = 0,912662 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,912662}{\pi}} = 1,07798 = 1077,98 \text{ mm}$$

Obtendo a velocidade corrigida para o diâmetro adotado de $d = 1050 \text{ mm}$, temos:

$$V = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + (2 * 10065,26)] * 4}{3600 * \pi * 1,05^2} = 21,08 \text{ m/s}$$

- TRECHO L-W

$$Vd = 20 \text{ m/s}$$

$$S = \frac{2 * 10352,33 * 4}{3600 * 20} = 0,287565 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,287565}{\pi}} = 0,605094 = 605,1 \text{ mm}$$

Obtendo a velocidade corrigida para o diâmetro adotado de $d = 600 \text{ mm}$, temos:

$$V = \frac{2 * 10352,33 * 4}{3600 * \pi * 0,6^2} = 20,34 \text{ m/s}$$

- TRECHO W-K

$$Vd = 20 \text{ m/s}$$

$$S = \frac{4 * 10352,33 * 4}{3600 * 20} = 0,575129 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0,575129}{\pi}} = 0,855732 = 855,7 \text{ mm}$$

Obtendo a velocidade corrigida para o diâmetro adotado de $d = 900 \text{ mm}$, temos:

$$V = \frac{4 * 10352,33 * 4}{3600 * \pi * 0,9^2} = 18,08 \text{ m/s}$$

- TRECHO P-H

$$Vd = 20 \text{ m/s}$$

$$S = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + (5 * 10065,26) + (4 * 10352,33)] * 4}{3600 * 20} \\ = 1,907177 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 1,907177}{\pi}} = 1,558298 = 1558,3 \text{ mm}$$

Obtendo a velocidade corrigida para o diâmetro adotado de $d = 1500 \text{ mm}$, temos:

$$V = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + (5 * 10065,26) + (4 * 10352,33)] * 4}{3600 * \pi * 1,5^2} \\ = 21,58 \text{ m/s}$$

- TRECHO Ha-Hb

$$Vd = 20 \text{ m/s}$$

$$S = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + (5 * 10065,26) + (4 * 10352,33)] * 4}{3600 * 20} \\ = 1,907177 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 1,907177}{\pi}} = 1,558298 = 1558,3 \text{ mm}$$

Obtendo a velocidade corrigida para o diâmetro adotado de $d = 1500 \text{ mm}$, temos:

$$V = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + (5 * 10065,26) + (4 * 10352,33)] * 4}{3600 * \pi * 1,5^2}$$

$$= 21,58 \text{ m/s}$$

- TRECHO Hb-la-lb

$$Vd = 20\text{m/s}$$

$$S = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + (5 * 10065,26) + (4 * 10352,33)] * 4}{3600 * 20}$$

$$= 1,907177 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 1,907177}{\pi}} = 1,558298 = 1558,3 \text{ mm}$$

Obtendo a velocidade corrigida para o diâmetro adotado de = 1050 mm, temos:

$$V = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + (5 * 10065,26) + (4 * 10352,33)] * 4}{3600 * \pi * 1,05^2}$$

$$= 44,05 \text{ m/s}$$

- TRECHO Hb-la -lb

$$Vd = 20\text{m/s}$$

$$S = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + (5 * 10065,26) + (4 * 10352,33)] * 4}{3600 * 20}$$

$$= 1,907177 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 1,907177}{\pi}} = 1,558298 = 1558,3 \text{ mm}$$

Neste caso, irá ser adotado o diâmetro de D = 1050 mm, muito menor que o recomendado, mas para atender as condições do arranjo.

$$V = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + (5 * 10065,26) + (4 * 10352,33)] * 4}{3600 * \pi * 1,05^2}$$

$$= 44,05 \text{ m/s}$$

- TRECHO lb-La

$$Vd = 20\text{m/s}$$

$$S = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + (5 * 10065,26) + (4 * 10352,33)] * 4}{3600 * 20}$$

$$= 1,907177 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 1,907177}{\pi}} = 1,558298 = 1558,3 \text{ mm}$$

Obtendo a velocidade corrigida para o diâmetro adotado de = 1500 mm, temos:

$$V = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + (5 * 10065,26) + (4 * 10352,33)] * 4}{3600 * \pi * 1,5^2}$$

$$= 21,58 \text{ m/s}$$

- TRECHO La-Lb

$$Vd = 20 \text{ m/s}$$

$$S = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + (5 * 10065,26) + (4 * 10352,33)] * 4}{3600 * 20}$$

$$= 1,907177 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 1,907177}{\pi}} = 1,558298 = 1558,3 \text{ mm}$$

Obtendo a velocidade corrigida para o diâmetro adotado de = 2000 mm, temos:

$$V = \frac{[(3 * 8432,829) + 10352,33 + 9930,32 + (5 * 10065,26) + (4 * 10352,33)] * 4}{3600 * \pi * 2^2}$$

$$= 12,14 \text{ m/s}$$

4.2.4. Cálculo da perda de carga ΔH

Trajeto 1:

Nos trechos A1-B e A2-B, têm-se o diâmetro de 300 mm e velocidade de 9,89 m/s na tubulação. Adota-se que no interior da tubulação, a temperatura do ar esteja a 60 graus devido à entrada de ar falso durante a passagem do aço no tanque de decapagem. Neste aspecto, a velocidade cinemática do ar, para essa temperatura é de $0,0000189 \text{ m/s}^2$, conforme o (quadro 4). Diante disso, calcula-se Reynolds:

$$Re = \frac{0,30 * 9,89}{0,0000189} = 156984,127$$

Obtém-se a rugosidade relativa das paredes do duto, com PVC = 0,00006 m em 300 mm de diâmetro:

$$R = \frac{0,00006}{0,3} = 0,0002$$

Em posse dos valores do número de Reynolds e rugosidade relativa, atingimos um valor de coeficiente de atrito igual a 0,019 no diagrama de Moody.

A partir disso, calculamos a perda de carga nas tubulações da esquerda (A1-B) e direita (A2-B) do tanque.

Perda de carga distribuída no trecho A2-B:

$$\Delta H_{A2-B} = \left(0,0185 * \frac{5,9}{0,3} * \frac{9,89^2}{2 * 9,81} \right) * 10,39 = \frac{18,84}{10} Pa = 1,884 mmCA$$

Perda de carga localizada no trecho A2-B:

➤ Peças Especiais:

2x Curva de 90 graus (k= 0,25)

$$\Delta H_{A2-B} = 0,5 * \frac{9,89^2}{16,34} = 2,99 mmCa$$

Perda de carga total:

$$\Delta H_{A2-B} = 1,884 + 2,99 = 4,87 mmCA$$

Perda de carga distribuída no trecho A1-B:

$$\Delta H_{A1-B} = \left(0,0185 * \frac{2,7}{0,3} * \frac{9,89^2}{2 * 9,81} \right) * 10,39 = \frac{8,624}{10} Pa = 0,862 mmCA$$

Perda de carga localizada no trecho A1-B:

➤ Peças Especiais:

1x Curva de 90 graus ($k = 0,25$)

$$\Delta H_{A1-B} = 0,25 * \frac{9,89^2}{16,34} = 1,49 \text{ mmCa}$$

Perda de carga total:

$$\Delta H_{A1-B} = 0,862 + 1,49 = 2,35 \text{ mmCA}$$

Como $\Delta H_{A2-B} > \Delta H_{A1-B}$, considera-se o trecho A2-B com maior perda de carga.

- Trecho B-F

No trecho B-F, além do diâmetro de 600 mm juntamente com a velocidade de 9,89 m/s, considera-se o alargamento de 600 para 900 mm, com decréscimo de velocidade para 8,79 m/s. A temperatura do fluido em todos os trechos do duto principal é fixada em 50 graus para fins de cálculo, portanto, a velocidade cinemática se dá por $0,0000179 \frac{m^2}{s}$, conforme o (quadro 4). Essa metodologia é seguida durante todo o cálculo dos dutos principais.

$$Re = \frac{0,60 * 9,89}{0,00001794} = 330769,2$$

$$R = \frac{0,00006}{0,6} = 0,0001$$

$$\Delta H_{B-F} = \left(0,0154 * \frac{27,7}{0,6} * \frac{9,89^2}{2 * 9,81} \right) * 10,72 = \frac{37,98}{10} \text{ Pa} = 3,80 \text{ mmCA}$$

Para a ramificação do trecho ΔH_{A2-B} ao duto principal:

- Considera-se $k = 0,44$

$$h_v = \frac{9,89^2}{16,34} = 5,98 * 0,44 = 2,63 \text{ mmCA}$$

Para o alargamento de Ø600 para Ø900mm:

$$\Delta h_v = \frac{9,89^2 - 8,79^2}{16,34} = 1,25 * 0,44 = 0,55 \text{ mmCA}$$

Perda de carga total:

$$\Delta H_{B-F} = 3,80 + 2,63 + 0,55 = 7 \text{ mmCA}$$

- Trecho F-K

$$Re = \frac{0,90 * 8,79}{0,00001794} = 440969,9$$

$$R = \frac{0,00006}{0,9} = 0,000067$$

$$\Delta H_{F-K} = \left(0,0142 * \frac{18,25}{0,9} * \frac{8,79^2}{2 * 9,81} \right) * 10,72 = \frac{12,15}{10} \text{ Pa} = 1,22 \text{ mmCA}$$

Para o alargamento de Ø 900 para Ø 1050 mm:

- Considera-se k = 0,44

$$\Delta h_v = \frac{8,79^2 - 22,97^2}{16,34} = -27,56 * 0,44 = -12,12 \text{ mmCA}$$

Perda de carga total:

$$\Delta H_{F-K} = 1,22 + (-12,12) = -10,9 \text{ mmCA}$$

- Trecho K- P

$$Re = \frac{1,05 * 22,97}{0,00001794} = 1344398$$

$$R = \frac{0,00006}{1,05} = 0,000057$$

$$\Delta H_{K-P} = \left(0,01235 * \frac{19,85}{1,05} * \frac{22,97^2}{2 * 9,81} \right) * 10,72 = \frac{67,28}{10} \text{ Pa} = 6,72 \text{ mmCA}$$

Para o lado esquerdo da bifurcação:

- Considera-se $k = 0,3$

$$\Delta h_v = 0,3 * \frac{22,97^2}{16,34} = 9,69 \text{ mmCA}$$

Para o lado direito da bifurcação:

- Considera-se $k = 0,3$

$$\Delta h_v = 0,3 * \frac{21,08^2}{16,34} = 8,16 \text{ mmCA}$$

Média ponderada para achar a perda de carga na bifurcação:

Onde:

$$Q1 = 19,89 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$P1 = 9,69 \text{ mmCA ("Lado esquerdo da bifurcação")};$$

$$Q2 = 18,25 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$P2 = 8,16 \text{ mmCA. ("Lado direito da bifurcação").}$$

$$\Delta p = (\Delta p1 * Q1 + \Delta p2 * Q2) / (Q1 + Q2) = 8,6 \text{ mmCA (Perda da bifurcação)}$$

Perda de carga total:

$$\Delta H_{K-P} = 6,72 \text{ mmCA}$$

Soma da perda de carga no trajeto 1:

$$\Delta H_{Trajeto 1} = 7,7 \text{ mmCA}$$

Trajeto 2:

Neste trajeto, existem duas ramificações distintas: trecho V-S até a bifurcação, e o trecho Q-R até a mesma bifurcação. Será adotado o trecho com maior perda de carga.

- Trecho V-S

$$Re = \frac{0,45 * 18,08}{0,0000189} = 430476,2$$

$$R = \frac{0,00006}{0,45} = 0,000133$$

$$\Delta H_{V-S} = \left(0,0152 * \frac{7,29}{0,45} * \frac{18,08^2}{2 * 9,81} \right) * 10,39 = \frac{42,6}{10} Pa = 4,26 mmCA$$

Para a ramificação do trecho ΔH_{V-S} ao duto principal:

➤ Peças Especiais:

2x curva de 45 ° (k= 0,1)

1x curva de 90 ° (k= 0,2)

$$h_v = 0,4 * \frac{18,08^2}{16,34} = 8 mmCA$$

Perda de carga total:

$$\Delta H_{V-S} = 4,22 + 8 = 12,26 mmCA$$

• Trecho Q-R

$$Re = \frac{0,4 * 18,64}{0,0000189} = 394497,35$$

$$R = \frac{0,00006}{0,4} = 0,00015$$

$$\Delta H_{Q-R} = \left(0,0155 * \frac{3,8}{0,40} * \frac{18,64^2}{2 * 9,81} \right) * 10,39 = \frac{27}{10} Pa = 2,7 mmCA$$

Para a ramificação do trecho ΔH_{Q-R} ao duto principal:

➤ Peças Especiais:

1x curva de 45 ° (k= 0,1)

1x curva de 90 ° (k= 0,25)

$$h_v = 0,35 * \frac{18,64^2}{16,34} = 7,4 mmCA$$

Perda de carga total:

$$\Delta H_{Q-R} = 2,7 + 7,5 = 10,15 \text{ mmCA}$$

- Trecho R-S

$$Re = \frac{0,6 * 8,28}{0,00001794} = 276923,08$$

$$R = \frac{0,00006}{0,6} = 0,0001$$

$$\Delta H_{R-S} = \left(0,0158 * \frac{9,9}{0,6} * \frac{8,28^2}{2 * 9,81} \right) * 10,72 = \frac{9,77}{10} \text{ Pa} = 0,98 \text{ mmCA}$$

Para a ramificação do trecho ΔH_{Q-R} ao duto principal:

- Considera-se $k = 0,18$

$$h_v = 0,18 * \frac{18,64^2}{16,34} = 3,8 \text{ mmCA}$$

Para o alargamento de $\varnothing 600$ para $\varnothing 900$ mm:

- Considera-se $k = 0,44$

$$\Delta h_v = 0,44 * \frac{(8,28^2 - 19,9^2)}{16,34} = -8,8 \text{ mmCA}$$

- Perda de carga total:

$$\Delta H_{R-S} = 3,8 + (-8,8) + 0,98 = -4,02 \text{ mmCA}$$

- Trecho S-Y

$$Re = \frac{0,9 * 19,9}{0,00001794} = 998327,8$$

$$R = \frac{0,00006}{0,9} = 0,000667$$

$$\Delta H_{S-Y} = \left(0,0128 * \frac{18,42}{0,9} * \frac{19,9^2}{2 * 9,81} \right) * 10,72 = \frac{56,68}{10} Pa = 5,67 mmCA$$

Para o alargamento de $\varnothing 900$ para $\varnothing 1000$ mm:

- Considera-se $k = 0,44$

$$\Delta h_v = 0,44 * \frac{(19,9^2 - 19,68^2)}{16,34} = 0,23 mmCA$$

Perda de carga total:

$$\Delta H_{S-Y} = 5,67 + 0,23 = 5,9 mmCA$$

Para a ramificação do trecho ΔH_{V-S} para $S-Y$ ao duto principal:

- Considera-se $k = 0,18$

$$h_v = 0,18 * \frac{18,08^2}{16,34} = 3,6 mmCA$$

Perda de carga total

Nesse trecho, serão consideradas as respectivas perdas de cargas juntamente com a perda da ramificação oriunda do trecho V-S.

Como o trajeto V-S, somada com a ramificação em S-Y, possui uma perda de $15,86 mmCA$, e os trechos Q-R + R-S possuem = $6,1 mmCA$, então o primeiro trecho possui uma perda de carga maior, logo, este será considerado para o cálculo do trajeto 2.

- Trecho Y-Z

$$Re = \frac{1,0 * 19,68}{0,00001794} = 1096990$$

$$R = \frac{0,00006}{1,0} = 0,00006$$

$$\Delta H_{Y-Z} = \left(0,0127 * \frac{22,88}{1,0} * \frac{19,68^2}{2 * 9,81} \right) * 10,72 = \frac{61,49}{10} Pa = 6,15 mmCA$$

Para o alargamento de Ø 1000 para Ø 1050 mm:

- Considera-se $k = 0,44$

$$\Delta h_v = 0,44 * \frac{(19,68^2 - 21,08^2)}{16,34} = -1,54 mmCA$$

Perda de carga total

$$\Delta H_{Y-Z} = 6,14 + (-1,53) = 4,61 mmCA$$

- Trecho Z-P

$$Re = \frac{1,05 * 21,08}{0,00001794} = 1233779,3$$

$$R = \frac{0,00006}{1,05} = 0,000057$$

$$\Delta H_{Z-P} = \left(0,0124 * \frac{22,9}{1,05} * \frac{21,08^2}{2 * 9,81} \right) * 10,72 = \frac{65,7}{10} Pa = 6,57 mmCA$$

Perda de carga total

$$\Delta H_{Z-P} = 6,57 mmCA$$

Trajeto 3:

Trajeto em que são situados 4 tanques elevados com trajetos idênticos, neste caso, a perda de carga será a mesma em todas as ramificações dos tanques. A temperatura no interior das tubulações é de 60 graus para todos os trechos. Para este trecho, a vazão será despejada no trecho K-P.

- Trecho M-L

$$Re = \frac{0,45 * 18,08}{0,0000189} = 430476,2$$

$$R = \frac{0,00006}{0,45} = 0,000133$$

$$\Delta H_{M-L} = \left(0,015 * \frac{7,13}{0,45} * \frac{18,08^2}{2 * 9,81} \right) * 10,39 = \frac{41,14}{10} Pa = 4,11 mmCA$$

➤ Trechos Especiais

3x Curva de 90 ° (k =0,16)

$$h_v = 0,48 * \frac{18,08^2}{16,34} = 9,6 mmCA$$

Perda de carga total

$$\Delta H_{M-L} = 4,11 + 9,6 = 13,71 mmCA$$

• Trecho L-W

$$Re = \frac{0,6 * 20,34}{0,0000189} = 645714,29$$

$$R = \frac{0,00006}{0,6} = 0,0001$$

$$\Delta H_{L-W} = \left(0,0141 * \frac{6,5}{0,6} * \frac{20,34^2}{2 * 9,81} \right) * 10,39 = \frac{33,47}{10} Pa = 3,35 mmCA$$

➤ Trechos Especiais

1x "T" de (k =0,28)

$$h_v = 0,28 * \frac{20,34^2}{16,34} = 7,09 mmCA$$

Perda de carga total

$$\Delta H_{L-W} = 3,35 + 7,09 = 10,4 mmCA$$

• Trecho W-K

$$Re = \frac{0,9 * 18,08}{0,0000189} = 860952,38$$

$$R = \frac{0,00006}{0,9} = 0,0000667$$

$$\Delta H_{W-K} = \left(0,013 * \frac{9,67}{0,9} * \frac{18,08^2}{2 * 9,81} \right) * 10,39 = \frac{24,18}{10} Pa = 2,4 mmCA$$

➤ Trechos Especiais

2x Curva de 90 ° (k =0,25)

2x Curva de 45 ° (k = 0,1)

1x Peça de ramificação (k =0,18)

$$h_v = 0,7 * \frac{18,08^2}{16,34} = 17,6 mmCA$$

Perda de carga total

$$\Delta H_{W-K} = 2,4 + 17,6 = 20 mmCA$$

Comparação da soma das perdas de carga de cada trajeto:

$$\Delta H_{Trajeto 1} = 4,8 + 6,9 + (-10,9) + 16,42 = 7,7 mmCA$$

$$\Delta H_{Trajeto 2} = 15,82 + 5,9 + 4,61 + 6,57 = 32,9 mmCA$$

$$\Delta H_{Trajeto 3} = 13,71 + 10,4 + 20 + 6,73 = 50,82 mmCA$$

Comparando os trajetos 1,2 e 3, foi evidente que a perda de carga do terceiro trajeto foi notavelmente superior que os demais, portanto, a perda de carga considerada no cálculo será a do trajeto 3.

Trajeto 4: Bifurcação do duto principal até a chaminé

- Trecho P-H

$$Re = \frac{1,5 * 21,58}{0,00001794} = 1804347,86$$

$$R = \frac{0,00006}{1,5} = 0,00004$$

$$\Delta H_{p-H} = \left(0,0118 * \frac{6,2}{1,5} * \frac{21,58^2}{2 * 9,81} \right) * 10,72 = \frac{12,4}{10} Pa = 1,24 mmCA$$

Para o alargamento de Ø1500 para Ø 2800 mm:

- Considera-se $k = 0,5$

$$\Delta h_v = 0,5 * \frac{21,58^2}{16,34} = 14,25 mmCA$$

- Peças Especiais:

3x curva de 90 ° ($k = 0,16$)

$$h_v = 0,48 * \frac{21,58^2}{16,34} = 13,68 mmCA$$

Perda de carga total

$$\Delta H_{p-H} = 1,24 + 14,25 + 13,68 = 29,17 mmCA$$

- Perda de carga do purificador:

$$\Delta H_{Lavadador} = 100 mmCA$$

- Trecho Ha-Hb:

$$Re = \frac{1,5 * 21,58}{0,00001794} = 1804347,83$$

$$R = \frac{0,00006}{1,5} = 0,00004$$

$$\Delta H_{Ha-Hb} = \left(0,0118 * \frac{4,7}{1,5} * \frac{21,58^2}{2 * 9,81} \right) * 10,72 = \frac{941}{10} Pa = 0,941 mmCA$$

- Peças Especiais:

1x curva de 3 gomos (k =0,3)

1x curva de 5 gomos (k =0,2)

$$h_v = 0,5 * \frac{21,58^2}{16,34} = 14,2 \text{ mmCA}$$

1x peça de derivação Ø 1500 (k =0,2)

$$h_v = 0,2 * \frac{44,05^2}{16,34} = 23,75 \text{ mmCA}$$

Perda de carga total

$$\Delta H_{Ha-Hb} = 0,93 + 14,2 + 23,75 = 38,89 \text{ mmCA}$$

- Trecho Hb - Ia

$$Re = \frac{1,05 * 44,05}{0,00001794} = 2578177,26$$

$$R = \frac{0,00006}{1,05} = 0,000057$$

$$\Delta H_{Hb-Ia} = \left(0,0116 * \frac{0,6}{1,05} * \frac{44,05^2}{2 * 9,81} \right) * 10,71 = \frac{7,028}{10} \text{ Pa} = 0,71 \text{ mmCA}$$

- Trecho Ia - Ib

$$Re = \frac{1,05 * 44,047}{0,00001794} = 2578177,3$$

$$R = \frac{0,00006}{1,05} = 0,000057$$

$$\Delta H_{Ia-Ib} = \left(0,0117 * \frac{1,91}{1,05} * \frac{44,047^2}{2 * 9,81} \right) * 10,72 = \frac{22,62}{10} \text{ Pa} = 2,26 \text{ mmCA}$$

- Peças Especiais

1x peça com derivação de 30 ° (k = 0,18)

$$h_v = 0,18 * \frac{44,047^2}{16,34} = 21,37 \text{ mmCA}$$

Perda de carga total

$$\Delta H_{Ia-lb} = 2,26 + 21,37 = 23,6 \text{ mmCA}$$

- Trecho lb – La

Peças Especiais

1x peça de curva de 90 ° (k = 0,16)

$$h_v = 0,16 * \frac{21,58^2}{16,34} = 4,56 \text{ mmCA}$$

Perda de carga total

$$\Delta H_{Ib-La} = 4,56 \text{ mmCA}$$

- Trecho La – Lb

$$Re = \frac{2 * 12,14}{0,00001794} = 1353400,2$$

$$R = \frac{0,00006}{2} = 0,00003$$

$$\Delta H_{La-Lb} = \left(0,012 * \frac{51,95}{2} * \frac{12,14^2}{2 * 9,81} \right) * 10,72 = \frac{25,1}{10} Pa = 2,51 \text{ mmCA}$$

- Peças Especiais
- 1x curva de 3 gomos (k = 0,4)
- 1x curva de 5 gomos (k = 0,3)

$$h_v = 0,7 * \frac{12,14^2}{16,34} = 6,31 \text{ mmCA}$$

Para o alargamento de Ø1500 para Ø 2000 mm:

- Considera-se $k = 0,44$

$$\Delta h_v = 0,44 * \frac{(21,58^2 - 12,14^2)}{16,34} = 8,6 \text{ mmCA}$$

Perda de carga total

$$\Delta H_{La-Lb} = 2,51 + 6,31 + 8,6 = 17,42 \text{ mmCA}$$

Perda de carga total do trajeto 4:

$$\Delta H_{Trajeto\ 4} = 29,17 + 100 + 38,89 + 23,6 + 4,56 + 17,42 + 8,6 = 222,95 \text{ mmCA}$$

Perda de carga total do sistema:

$$\Delta H_{Trajeto\ 3+Trajeto\ 4} = 50,82 + 222,95 = 273,77 \text{ mmCA}$$

4.3. SOLUÇÃO PROPOSTA

Portanto, o ventilador atual do sistema se torna subdimensionado devido às conclusões dos cálculos da vazão e perda de carga total do sistema. Partindo deste princípio, será dimensionado um novo ventilador que atenda aos requisitos do sistema.

4.3.1. Dimensionamento de um novo ventilador

Considerando as condições obtidas através dos cálculos, percebeu-se uma insuficiência no ventilador do sistema atual. Deste modo, coube como solução o dimensionamento de um novo ventilador para atender as condições do projeto.

Dados:

$$Q_{req} = 137317 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$P_{req} = 273,8 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Adotando uma margem de 15%, tem-se:

$$Q = 157914,55 \frac{m^3}{h}$$

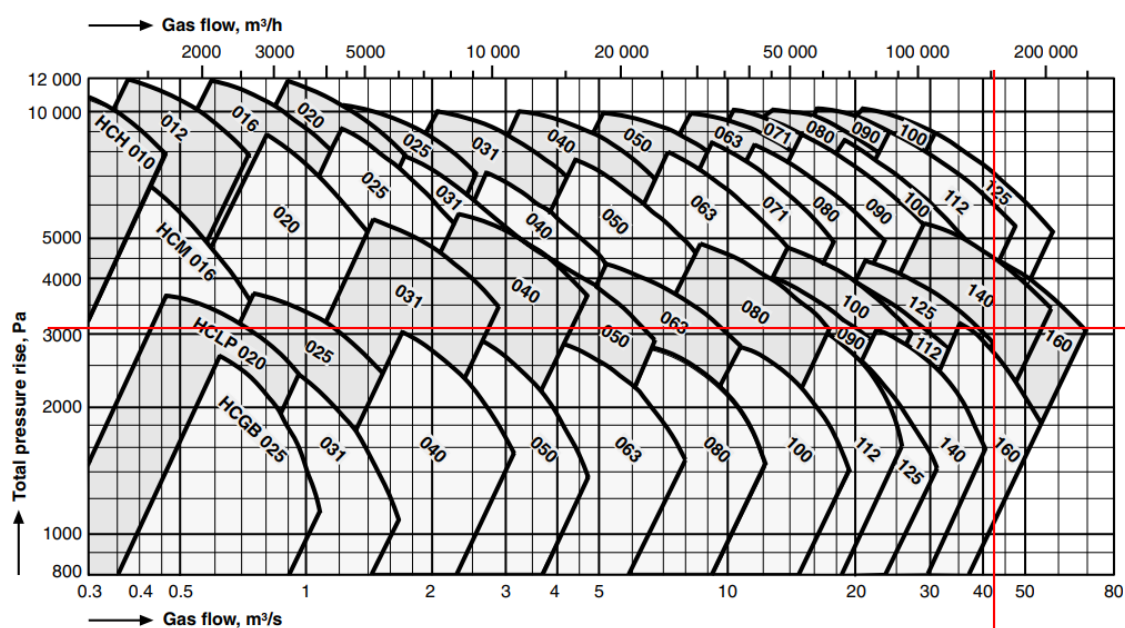
$$P = 314,87 = mmH_2O = 3085,726 Pa$$

Desta forma, utilizando os dados determinados, foi selecionado o ventilador HCLP 140.

Figura 45. Quadriculas para escolha de ventiladores FlätkWoods.

HCGB, HCLP, HCM(B,P) and HCH(B,P)

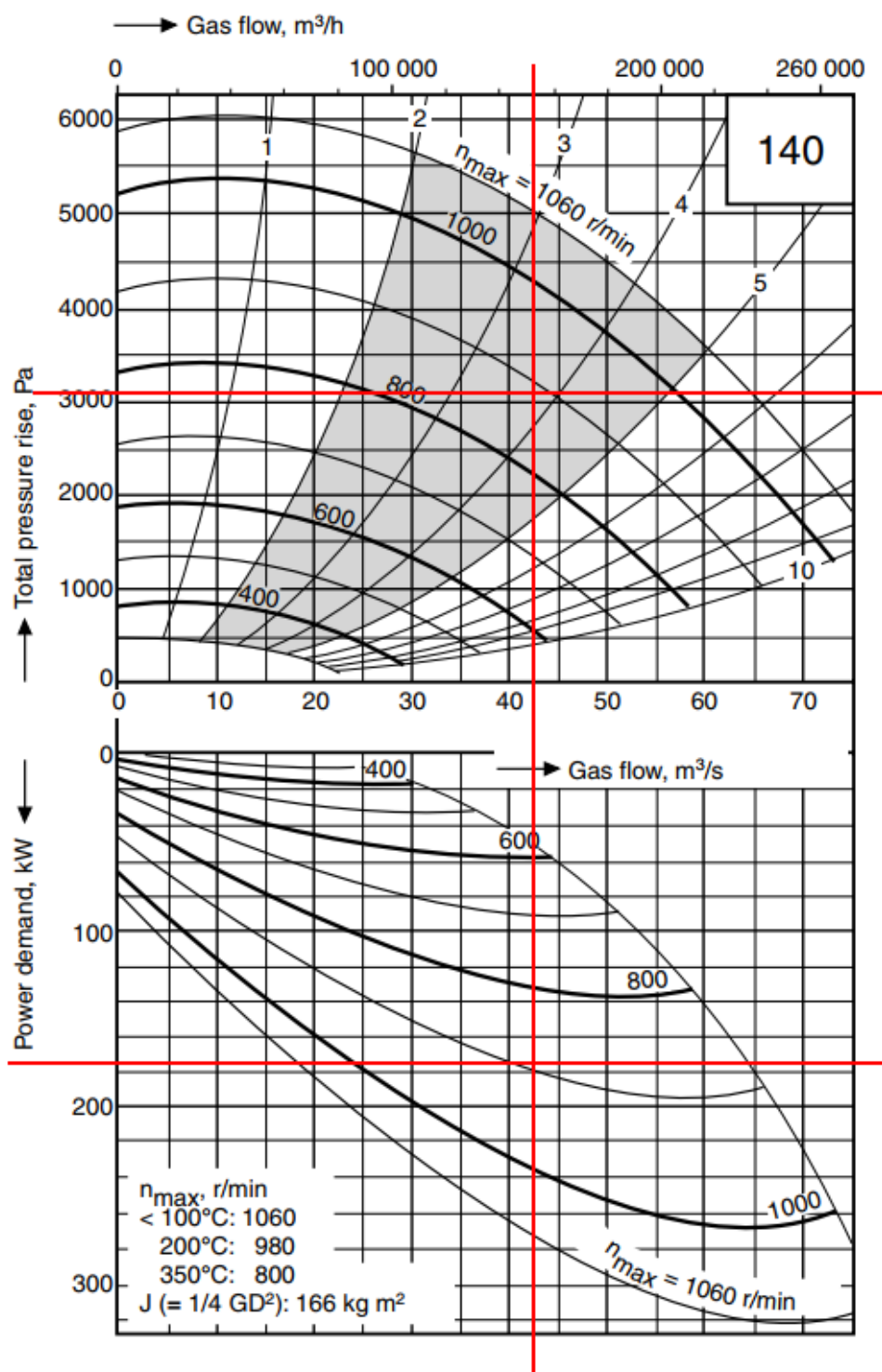
The charts are valid for gas at a density of 1.2 kg/m².



Fonte: Catálogo FlätkWoods.

Desta forma, a partir das quadrículas do catálogo de FlätkWoods, como visto na (figura 45), foi selecionado o ventilador HCLP 140, e obtido os dados referentes ao ventilador.

Figura 46. Ventiladores centrífugos HCLP 140 FlätkWoods.



Fonte: Catálogo FlätkWoods.

Realizando a interpolação dos dados encontrados na (figura 46), temos:

- Rotação

$$\frac{n - 800}{900 - 800} = \frac{3106 - 2200}{3200 - 2200} \therefore n = 889 \text{ rpm}$$

- Determinando a pressão máxima ($P_{m\acute{a}x}$)

$$\frac{P_{m\acute{a}x} - 3200}{4200 - 3200} = \frac{889 - 800}{900 - 800} \therefore P_{m\acute{a}x} = 4097,2 \text{ Pa} = 418,1 \text{ mmH}_2\text{O}$$

- Potência (N)

$$\frac{N - 132}{180 - 132} = \frac{891 - 800}{900 - 800} \therefore N = 174,5 \text{ kW} = 237,3 \text{ CV}$$

Determinando a curva característica do sistema

- Curva característica do ventilador

$$P = P_{m\acute{a}x} + kQ^2$$

$$314,87 = 418,1 + k157915^2$$

$$k = -4,1387 * 10^{-9}$$

- Curva característica do sistema

$$P = kQ^2$$

$$273,8 = k137317^2$$

$$k = 1,45206 * 10^{-8}$$

- Determinar ponto de trabalho para vazão

$$kQ^2 = P_{m\acute{a}x} + kQ^2$$

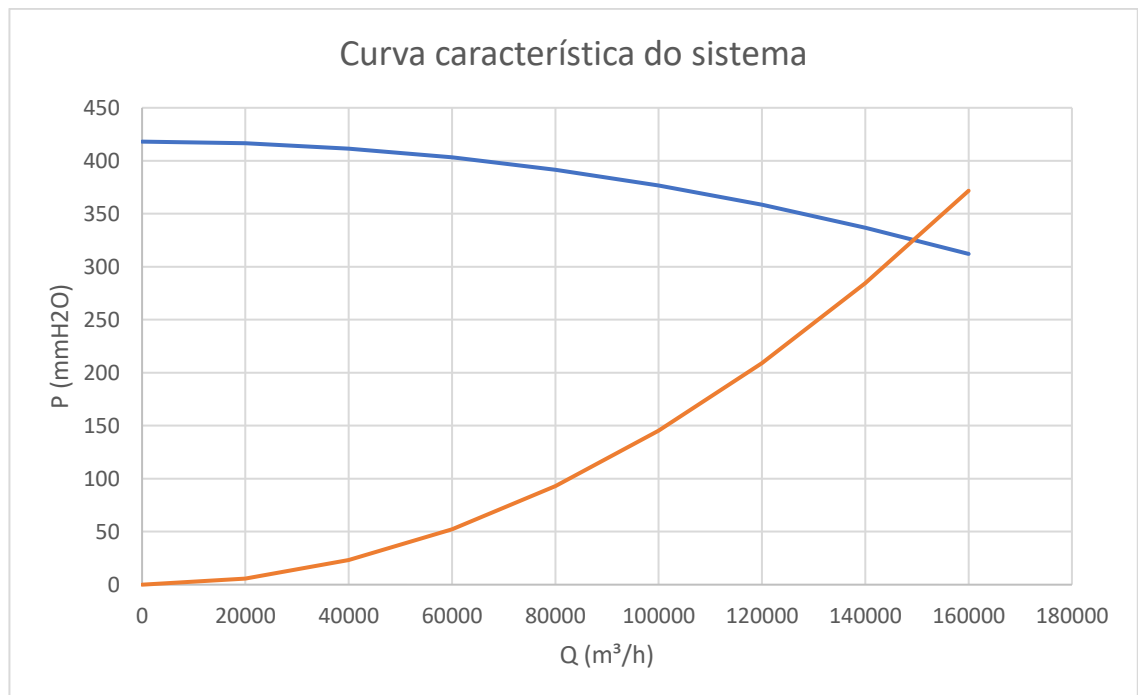
$$1,45206 * 10^{-8} Q^2 = 418,1 - 4,1387 * 10^{-9} Q^2 \therefore Q = 149686 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Determinar ponto de trabalho para vazão

$$\sqrt{\frac{P}{k}} = \sqrt{\frac{P - P_{\text{máx}}}{k}}$$

$$\frac{P}{1,45206 * 10^{-8}} = \frac{P - 418,1}{-4,1387 * 10^{-9}} \therefore P = 325 \text{ Pa}$$

Figura 47. Ponto de funcionamento.



Fonte: AUTORES (2020).

4.3.2. Orçamento

SERVIÇOS	MÃO DE OBRA	VALOR M.O	HORAS		QTD.	VALOR TOTAL
SERVIÇO DE DESMONTAGEM DO VENTILADOR	MECÂNICO	R\$ 7	20		5	R\$ 744
	ELETRICISTA	R\$ 7	20		2	R\$ 298
	LIDER DA MECÂNICA	R\$ 9	20		1	R\$ 180
	LIDER DA ELÉTRICA	R\$ 9	20		1	R\$ 180
	INSPETOR	R\$ 11	20		1	R\$ 220
	ENGENHEIRO	R\$ 39	20		1	R\$ 780
	OPERADOR DE PONTE ROLANTE	R\$ 7	20		1	R\$ 140
SERVIÇO DE MONTAGEM DO VENTILADOR	MECÂNICO	R\$ 7	40		5	R\$ 1.488
	ELETRICISTA	R\$ 7	40		2	R\$ 595
	LIDER DA MECÂNICA	R\$ 9	40		1	R\$ 360
	LIDER DA ELÉTRICA	R\$ 9	40		1	R\$ 360
	INSPETOR	R\$ 11	40		1	R\$ 440
	ENGENHEIRO	R\$ 39	40		1	R\$ 1.560
	OPERADOR DE PONTE ROLANTE	R\$ 7	40		1	R\$ 280
SERVIÇO DE DESMONTAGEM E MONTAGEM DA TUBULAÇÃO	MECÂNICO	R\$ 7	80		8	R\$ 4.762
	LIDER DA MECÂNICA	R\$ 10	80		2	R\$ 1.520
	INSPETOR	R\$ 11	80		1	R\$ 880
	ENGENHEIRO	R\$ 39	80		1	R\$ 3.120
	OPERADOR DE GUINDASTE	R\$ 10	80		1	R\$ 800
	OPERADOR DE PONTE ROLANTE	R\$ 7	80		1	R\$ 560
VALOR TOTAL DE SERVIÇOS						R\$ 19.266
MATERIAIS	TIPO	QTD. POR LOTE	VALOR LOTE	VALOR UNITÁRIO	QTD.	VALOR TOTAL
TUBULAÇÃO	Ø400	4 METROS	R\$ 3.660,73	R\$ 915,18	11,4	R\$ 10.433,05
	Ø450	4 METROS	R\$ 5.491,09	R\$ 1.372,77	18,221	R\$ 25.013,24
	Ø600	4 METROS	R\$ 8.420,25	R\$ 2.105,07	34,2	R\$ 71.993,39
	Ø900	4 METROS	R\$ 13.450,62	R\$ 3.362,65	28,09	R\$ 94.456,84
	Ø1000	4 METROS	R\$ 15.000,00	R\$ 3.750,00	22,88	R\$ 85.800,00
VENTILADOR	CENTRÍFUGO	-	-	R\$ 357.000,00	2	R\$ 714.000,00
VALOR TOTAL DE MATERIAIS						R\$ 1.001.696,53
VALOR TOTAL						R\$ 1.020.962,93

Fonte: AUTORES (2020).

5. CONCLUSÃO

A corrosão em estruturas e em equipamentos é indesejável porque além de comprometer a segurança do local e a saúde dos colaboradores, interfere no bom funcionamento do equipamento que se situa próximo à fonte do contaminante, possibilitando uma parada de produção por conta do poder corrosivo do ácido que danifica os equipamentos. Diante disso, o tema deste trabalho foi voltado para esse empecilho enfrentado pela empresa que possui um sistema de exaustão ineficiente, na qual há diversas consequências, como apontadas anteriormente. A partir disso, um estudo de caso foi realizado a fim de trazer melhorias para o ambiente de trabalho da decapagem.

Os resultados dos cálculos evidenciaram, de forma comparativa, a incapacidade do ventilador existente em atender a demanda do sistema, destacando a ineficiência em exaurir os vapores ácidos. Dessa forma, a proposta da instalação de um novo ventilador e a troca de algumas tubulações permitirá uma melhora significativa em relação ao sistema existente com vários benefícios e melhorias na conservação dos equipamentos.

No ponto de vista econômico, caso seja adotada a troca por um novo ventilador e por novas tubulações, a empresa terá que desembolsar um valor que, no cenário atual, pode ser uma solução não muito econômica. No entanto, a solução proposta é necessária, pois a busca por soluções para melhorar as condições do ambiente de trabalho se torna necessária.

Portanto, a instalação do novo ventilador com capacidade de vazão e de pressão superior ao antigo sistema, como demonstrado na memória de cálculo, e a substituição de alguns trechos de tubulações proporcionará um novo sistema de exaustão que tornará o ambiente da decapagem saudável e seguro. Além disso, a melhoria da captação do contaminante evitará degradação ambiental e, materiais e equipamentos proporcionarão melhorias na produtividade devido à superioridade do novo projeto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **Industrial ventilation**, USA, 23rd edition, 1998.

ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists. **Industrial Ventilation**, USA, 27th edition, 2010.

ALÉ, J. V. **Sistemas de ventilação industrial**: Ventiladores. LSFM – FENG -PUCRS, 2001.

BETA EDUCAÇÃO. **EPI e EPC – “Qual a diferença?”**. Disponível em: <<https://betaeducacao.com.br/epi-e-epi-qual-a-diferenca/>>. Acesso em: 31 mai. 2020.

BIBLIOTECA VIRTUAL EM SAÚDE MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Saúde e segurança no trabalho**. Disponível em: <<https://bvsmis.saude.gov.br/dicas-em-saude/2323-saude-e-seguranca-no-trabalho>>. Acesso em: 20 mai. 2020.

BRASFAIBER COMPANY. Exaustores Centrífugos: **Ventiladores Centrífugos**. Disponível em: <<https://www.brasfaiber.com.br/ventilador-centrifugo/>>. Acesso em: 30 mai. 2020.

CETESB EMERGÊNCIAS QUÍMICAS. **Ficha de informação de produto químico**. Disponível em: <https://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=CLORETO%20FERROSO>. Acesso em: 15 jun. 2020.

CIMIL – Comércio e Indústria de Minérios Ltda. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos**. Disponível em: <<https://www.ict.unesp.br/Home/sobreoict/departamentosdeensino/odontologiarrestauradora/lipq-laboratoriointegradodepesquisa/cloreto-ferrico-pa.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2020.

GUIA TRABALHISTA. **Anexo XI da NR 15**. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr15.htm>>. Acesso em: 31 mai. 2020.

GYMPASS. **Problemas de saúde x produtividade no trabalho “Como resolver a situação?”**. Disponível em: <<https://blog.gympass.com/problemas-de-saude-productividade-no-trabalho/>>. Acesso em: 20 mai. 2020.

LISBOA, H. M. **Controle da poluição atmosférica**: efeitos causados pela poluição atmosférica, Florianópolis: ENS/UFSC, cap. 3, 1^a versão, 2007.

MACINTYRE, A. J. **Ventilação industrial e controle da poluição**, Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1988.

MERCER MARSH BENEFÍCIOS COMPANY. **Educar para a segurança e a saúde no trabalho.** Disponível em: <<http://www.mercermarshbeneficios.com.br/capital-intelectual/news/educar-para-a-seguranca-e-a-saude-no-trabalho.html>>. Acesso em: 20 mai. 2020.

OLIVEIRA, A. F. **Tudo o que você precisa saber sobre segurança no trabalho.** Beecorp. Disponível em: <<https://beecorp.com.br/blog/seguranca-do-trabalho/>>. Acesso em: 01 jun. 2020.

PORTAL DE QUÍMICA. **Composição do ar.** Disponível em: <<http://www.soq.com.br/conteudos/ef/ar/p1.php>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

PORTO, R. M. **Hidráulica básica** – São Paulo. EESC.USP, 2006.

SANTOS, G. S. **Estudo de redes de distribuição de ar para garantia da qualidade do ar interno.** 2006. 82 f. Dissertação (Engenharia Mecânica ênfase Energia e Fluidos) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

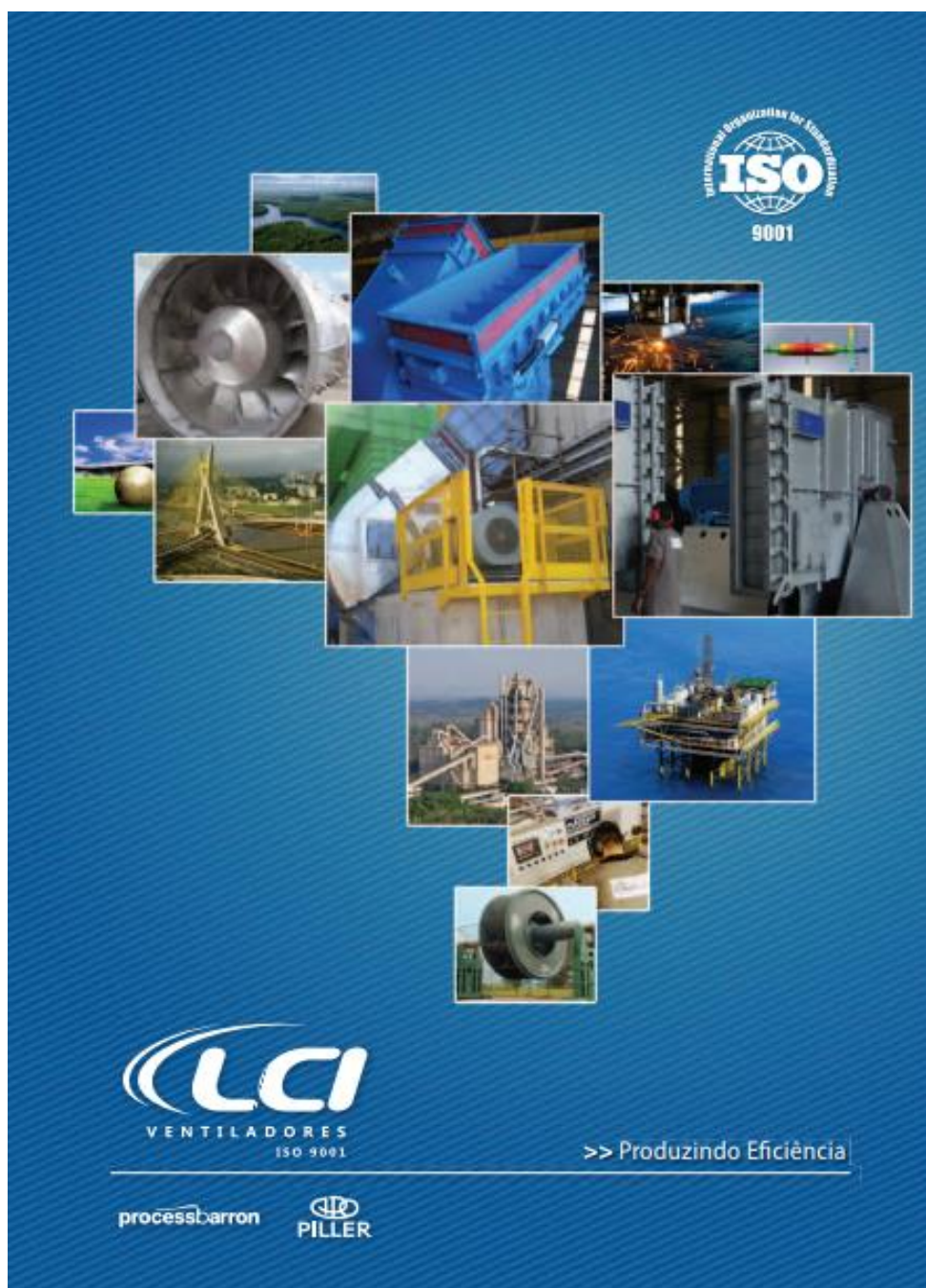
SBCOACHING COMPANY. **Segurança no trabalho.** Disponível em: <<https://www.sbcoaching.com.br/coaching/saude-no-trabalho>>. Acesso em: 20 mai. 2020.

TAGLIAFERRO, G. V. **Escoamento permanente de fluido incompressível em condutos forçados.** Disponível em: <<http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840921/LOQ4083/6%20-%20Aula%206%20-%20FT%20I.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2020.

TEVES, M. L. U. **Ácido Clorídrico.** Abr.2003. Disponível em: <<https://www.oswaldocruz.br/download/fichas/%C3%81cido%20clor%C3%ADdrico2003.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2020.

ANEXOS

ANEXO A – CATÁLOGO LCI VENTILADORES



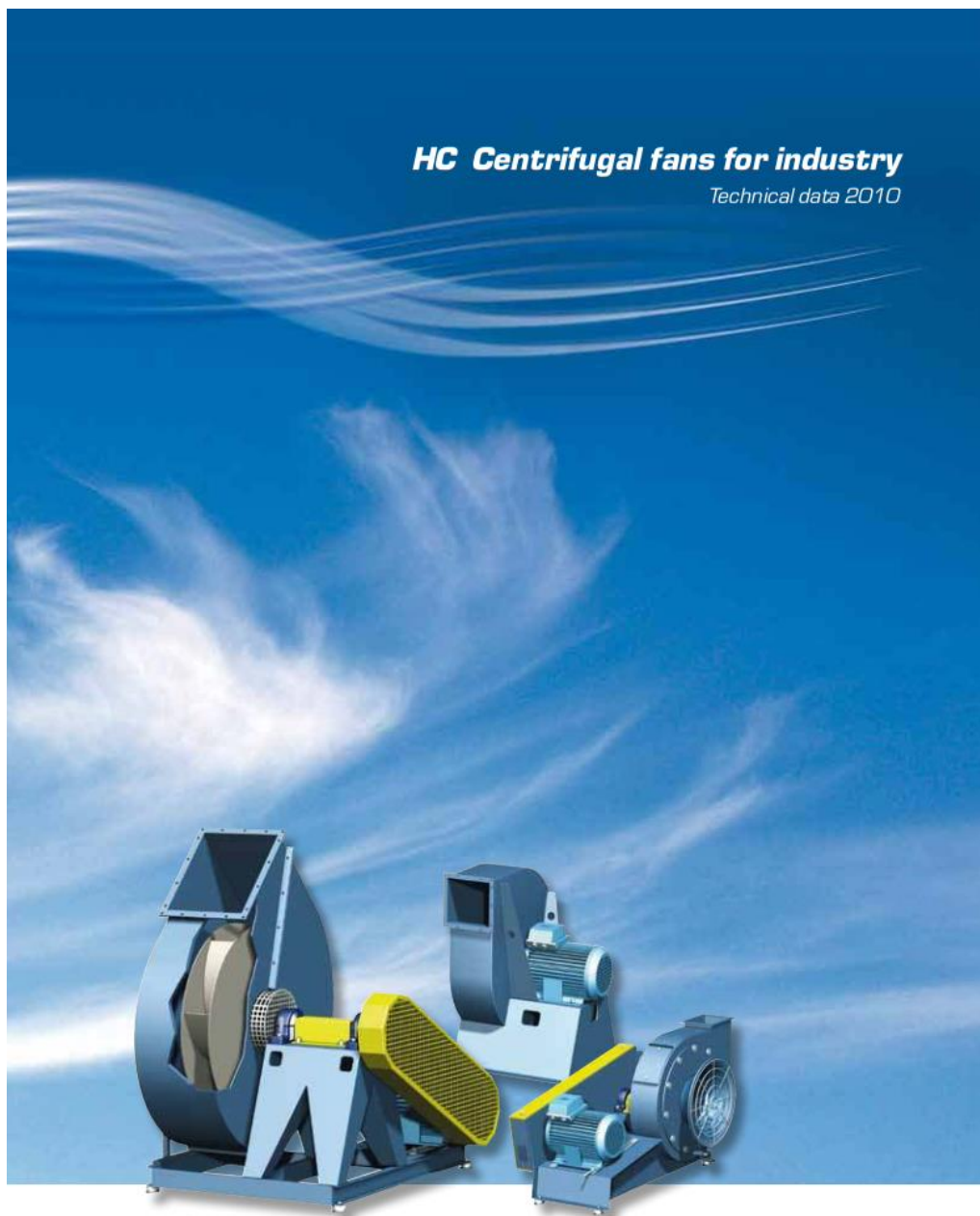
ANEXO A - FOLHA DE DADOS DO EXAUSTOR

1- APLICAÇÃO		
01	Área	Decapagem Contínua 03
02	Sub-Área	Exaustão
03	Sistema	Sistema de Exaustão dos Tanques

OS DADOS NÃO PREENCHIDOS DEVERÃO SER COMPLETADOS PELO FORNECEDOR

2- CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO		
04	Uso	() Insuflamento (X) exaustão
05	Operação	(X) Contínua () Intermitente
06	Fluido	AR + Vapor de HCl
07	Temperatura de operação	50 °C
08	Altitude	375 m
09	Pressão atmosférica	100 KPa
10	massa específica nas condições de operação	Kg/m ³
11	Vazão nas condições de operação	1.274 m ³ /min
12	Pressão Estática (condição de operação)	210 mmca
13	Pressão total (condição de operação)	KPa
14	Sentido de fluxo	() do motor para hélice () da hélice para o motor
15	Sentido de rotação	() horário () anti-horário

ANEXO B – CATÁLOGO PARA VENTILADORES CENTRÍFUGOS PARA
INDÚSTRIAS FLÄKTWOODS.

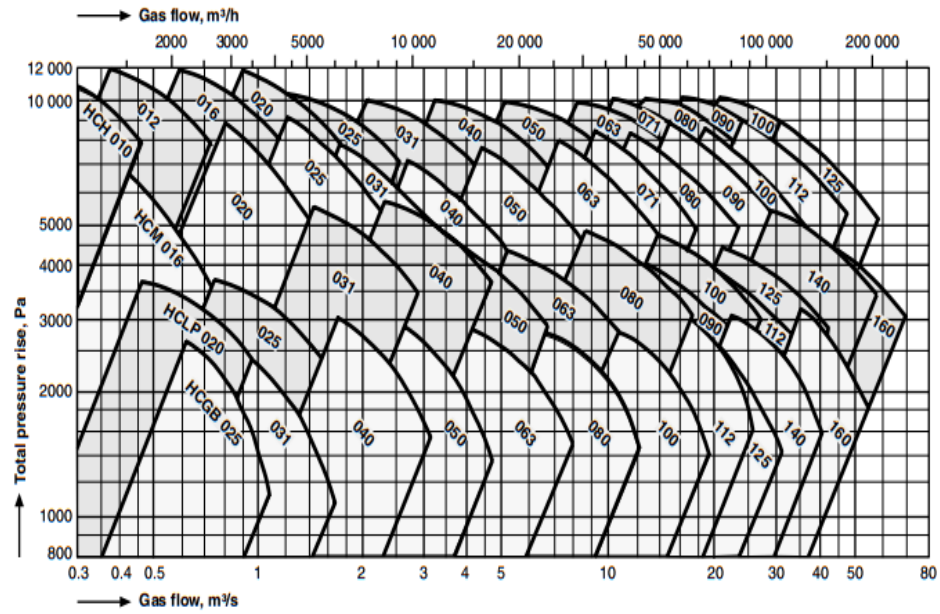


FläktWoods

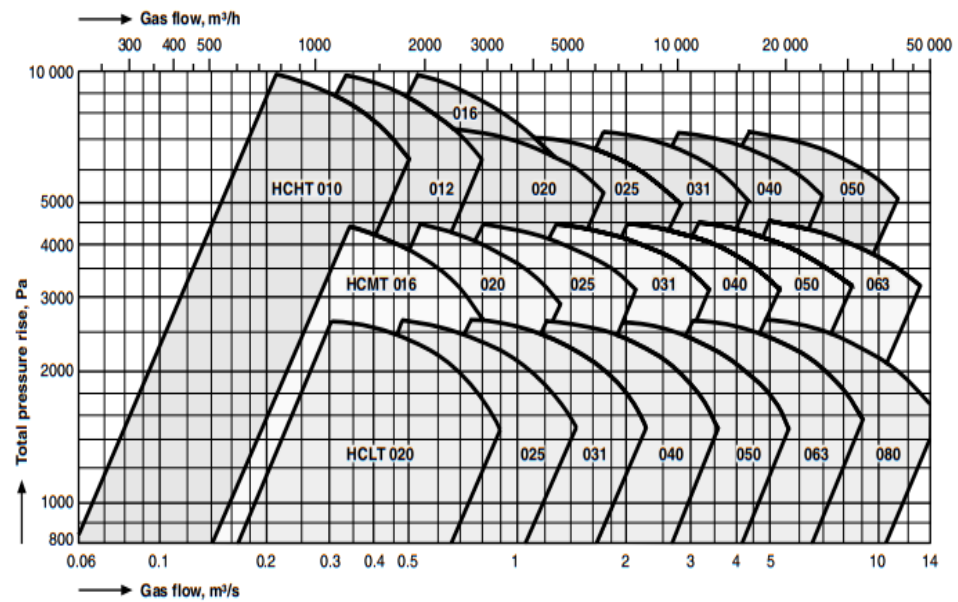
Key charts - belt-driven fans

HCGB, HCLP, HCM(B,P) and HCH(B,P)

The charts are valid for gas at a density of 1.2 kg/m³.



HCLT, HCMT and HCHT



Fan charts - Belt-driven fans

The charts are valid for gas at a density of 1.2 kg/m³.

Optimum working ranges are shaded in grey.

HCLP

