



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

Matheus Langner Bayer

**Dimensionamento de um sistema de transporte pneumático para exaustão de material
particulado em uma indústria de painéis de madeira**

Guaratinguetá - SP
2023

Matheus Langner Bayer

Dimensionamento de um sistema de transporte pneumático para exaustão de material particulado em uma indústria de painéis de madeira

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador (a): Prof. Fernando Henrique Mayworm de Araujo
Coorientador (a): Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna

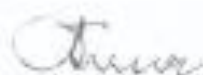
Guaratinguetá - SP
2023

B357d	Bayer, Matheus Langner Dimensionamento de um sistema de transporte pneumático para exaustão de material particulado em uma indústria de painéis de madeira / Matheus Langner Bayer - Guaratinguetá, 2023. 45 f : il. Bibliografia: f. 39-40 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023. Orientador: Prof. MSc. Fernando Henrique Mayworm de Araújo Coorientador: Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna 1. Painéis de madeira. 2. Transportadores pneumáticos. 3. Tubulações. I. Título. CDU 697.9
-------	---

Matheus Langner Bayer

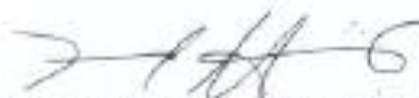
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. MSc. Fernando Henrique Mayworm de Araujo
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. Maitis Santos Castro
UNESP-FEG



Prof. Dr. Thiago Averaldo Bimestre
UNESP-FEG

Março 2023

dedico este trabalho
de modo especial, à minha mãe.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por todas as graças que tem dado a mim, em especial agradeço por dar forças para chegar ao fim de mais essa jornada.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional, por me incentivarem a nunca desistir e me educando pelo exemplo de coragem e dedicação em tudo. Obrigado por serem minha base de segurança e conforto, me guiando, mesmo de longe, nos dias árduos.

Ao meu irmão, e meu melhor amigo, por estar sempre do meu lado, trazendo alegria e me ensinando a encarar desafios com mais leveza.

Ao meu orientador, Prof. Fernando Henrique Mayworm de Araujo, pelo respaldo, confiança e dedicação, se mostrando sempre prestativo e disposto a me apoiar, desde o início.

Aos colaboradores da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá que, independente do cargo, sempre prestaram um serviço com dedicação e solicitude.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos que fiz durante o curso, pelo companheirismo e solidariedade.

“All men have limits. They learn what they are and then learn not to exceed them. I ignore mine.”

Bruce Wayne

RESUMO

A indústria de painéis de madeira tem como principal resíduo os subprodutos do corte da madeira, formando particulados em grande quantidade. Desta forma, a utilização de sistemas de exaustão locais é um método muito comum para captar estes resíduos, normalmente através de sistemas de transporte pneumático de partículas sólidas por meio de sua mistura com um fluxo de ar. Dito isto, a proposta deste trabalho é a realização do dimensionamento e o projeto conceitual de um sistema de exaustão de resíduos particulados em uma linha de produção de painéis de madeira utilizando transporte pneumático com ventilador centrífugo, com, ao fim da linha o dimensionamento de um filtro de mangas para a separação do particulado sólido. Este trabalho será realizado com dados reais, fornecidos pela indústria, para a execução do projeto de um sistema de exaustão de resíduos particulados de madeira e sua separação por meio da utilização de um filtro de mangas, possibilitando a aplicação prática dos conceitos apresentados nas disciplinas de Mecânica dos Fluidos e Sistemas Fluidomecânicos.

.

PALAVRAS-CHAVE: Transporte Pneumático; Ventilação Industrial; Filtro de Mangas. Indústria de Painéis de Madeira.

ABSTRACT

The wood panel industry has as its main waste the by-products of wood cutting, forming large amounts of particulate matter. In this way, the use of local exhaust systems is a very common method to capture these residues, normally through pneumatic transport systems of solid particles through their mixture with an air flow. That said, the purpose of this work is to carry out the design and conceptual design of a particulate waste exhaust system in a wood panel production line using pneumatic conveying with a centrifugal fan, with, at the end of the line, the design of a bag filter for the separation of solid particulates. This work will be carried out with real data, provided by the industry, for the execution of the project of a system of exhaustion of particulate wood residues and its separation through the use of a bag filter, allowing the practical application of the concepts presented in the disciplines of Fluid Mechanics and Fluidmechanical Systems.

KEYWORDS: Pneumatic Transport; Industrial Ventilation; Bag Filter; Wood Panel Industry.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	JUSTIFICATIVA	11
3	OBJETIVOS	12
3.1	OBJETIVO GERAL	12
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
4.1	VENTILAÇÃO INDUSTRIAL	13
4.1.1	Transportes Pneumáticos	13
4.1.1.1	Equipamentos geradores de pressão	14
4.1.1.2	Tubulações	15
4.1.1.3	Coletores e Filtros de Mangas	15
4.1.1.4	Válvulas rotativas	16
4.2	INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA	17
5	METODOLOGIA	19
5.1	PROJETO DO SISTEMA	21
5.2	RESOLUÇÃO DETALHADA PARA UM TRECHO DO SISTEMA	21
5.2.1	Dimensionamento de dutos	22
5.2.2	Perda de carga nos dutos retos	23
5.2.3	Perda de carga nas curvas	25
5.2.4	Perda de carga em bules	26
5.2.5	Perda de carga no captor	26
5.3	DIMENSIONAMENTO DO FILTRO DE MANGAS	27
5.4	SELEÇÃO DO VENTILADOR	27
5.5	DIMENSIONAMENTO DA ROSCA TRANSPORTADORA	28
5.6	DIMENSIONAMENTO DA VÁLVULA ROTATIVA	28
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
6.1	RESOLUÇÃO DA PERDA DE CARGA PARA O SISTEMA	29
6.1.1	Dados fornecidos do equipamento produtor de resíduos	29
6.1.2	Dimensionamento dos dutos retos	30
6.1.3	Perda de carga nos dutos retos	31
6.1.4	Perda de carga nas curvas	32
6.1.5	Perda de carga em bules, expansões e reduções	33

6.2	DIMENSIONAMENTO DO FILTRO DE MANGAS	33
6.3	SELEÇÃO DO VENTILADOR	35
6.4	DIMENSIONAMENTO DA ROSCA TRANSPORTADORA	36
6.5	DIMENSIONAMENTO DA VÁLVULA ROTATIVA	37
7	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS	39
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	40
	APÊNDICES	41
	ANEXOS	44

1 INTRODUÇÃO

O transporte pneumático de partículas sólidas tem sido frequentemente utilizado em diversas indústrias para a movimentação de materiais, por meio de sua mistura com um fluxo de ar. Para que ocorra esta movimentação, há necessidade de se ter uma quantidade de ar constante e controlável, de forma a se obter um fluxo contínuo da mistura ar/partículas. Além das características do material particulado, outras três variáveis são importantes para a eficiência do transporte pneumático: volume de ar, velocidade e pressão. Devido às características específicas do transporte, há a necessidade de dimensionar uma máquina específica (ventilador, compressor, soprador) para cada projeto, de forma a atender os requisitos de vazão, pressão e velocidade do escoamento bifásico.

A indústria de painéis de madeira tem como principal resíduo os subprodutos do corte da madeira, formando particulados em grande quantidade e de diversos tamanhos, como cavacos, serragem e pó. Desta forma, a utilização de sistemas de exaustão locais é um método muito comum para captar estes resíduos. Dito isto, a proposta deste trabalho é a realização do dimensionamento e o projeto conceitual de um sistema de exaustão de resíduos particulados em uma linha de produção de painéis de madeira utilizando transporte pneumático com ventilador centrífugo. Ao fim da linha será dimensionado um filtro de mangas para a separação do particulado sólido, levando em consideração as perdas de carga nos dutos de transporte, bem como no próprio filtro de mangas, o tamanho e vazão do particulado, vazão de ar para transporte e seleção do ventilador adequado para esta finalidade.

2 JUSTIFICATIVA

Parte da formação acadêmica de um estudante de Engenharia Mecânica inclui a habilidade do desenvolvimento e criação de desenhos de peças, dispositivos, ferramentas e máquinas, bem como a criação e aprimoramento de sistemas para aplicação na indústria. Com isso, o engenheiro mecânico é o responsável por projetar e desenvolver máquinas e sistemas termodinâmicos e fluidomecânicos para todo tipo de indústria.

De forma investigativa e prática, este trabalho será realizado utilizando a aplicação prática dos conceitos apresentados nas disciplinas de Mecânica dos Fluidos e Sistemas Fluidomecânicos, permitindo a execução do projeto de um sistema de exaustão de resíduos particulados de madeira e sua separação por meio da utilização de um filtro de mangas. Essa separação e movimentação do particulado garante um bom funcionamento da operação, por permitir que as máquinas trabalhem sem acúmulo de material, o que pode comprometer a qualidade da produção, além de garantir a segurança e saúde dos colaboradores que estão em contato com o pavilhão e impedir que esse particulado seja disperso no meio ambiente, sendo encaminhado para um descarte ou utilização mais apropriado.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento de um sistema de exaustão de resíduos particulados em uma linha de produção de painéis de madeira utilizando transporte pneumático com ventilador centrífugo, com o dimensionamento de um filtro de mangas para a separação do particulado sólido no final da linha de exaustão.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar as especificações da indústria para o projeto da linha de transporte e dos acessórios necessários, com o objetivo de dimensionar os dutos e estimar as perdas de carga do escoamento.
- Dimensionar o projeto de um filtro de mangas que atenda às normas ambientais para a emissão de MP (material particulado).
- Dimensionar um ventilador centrífugo que atenda as condições do transporte pneumático.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

Como aponta Filippo Filho (2015), devido à importância da presença do ar em todos os ambientes de trabalho, a ventilação se faz presente em praticamente todas as atividades industriais. A ventilação é aplicada tanto nos processos de controle ambiental, agindo nas questões de segurança para o metabolismo do homem quanto nos processos produtivos em si, através de sistemas de transporte de partículas.

Devido a estes fatores, a ventilação industrial deve ser planejada e alterada de acordo com as necessidades do ambiente, prevenindo danos à saúde e bem estar dos trabalhadores e inclusive danos à propriedade, garantindo a ordem, a limpeza e a conservação de máquinas e equipamentos ao destinar transporte e locais previstos para depósito de materiais que podem ser descartados por ser potencialmente nocivos e afetar o meio ambiente, poluindo-o. Desta forma, além de remover elementos contaminantes de um determinado local, a ventilação industrial irá garantir o controle da poluição através da captação e coleta destes elementos, a fim de descartá-los ou dar outra finalidade dentro da própria produção, gerando uma possível economia de recursos que até então seriam desperdiçados.

4.1.1 Transportes Pneumáticos

Os sistemas de Transporte Pneumático têm como objetivo principal a condução de partículas sólidas através do fluxo de um gás inerte, normalmente o ar, que carrega estas partículas, permitindo o controle e separação dos poluentes do ar no ambiente de trabalho, garantindo que estes possam ser separados e tratados em um equipamento de controle de poluentes, como filtros e lavadores, por exemplo (Filippo Filho, 2015).

A quantidade de aplicações dos sistemas de transporte pneumáticos é inúmera dentro do ambiente industrial, devido à grande variedade de produtos que podem ser transportados através de um baixo custo de manutenção, garantindo segurança para os trabalhadores por ser uma operação praticamente automatizada que oferece baixo risco, além de garantir a segurança das partículas transportadas, como, por exemplo, na aplicação no transporte de produtos alimentícios.

Segundo Mesquita (1988), em essência, um sistema de transporte pneumático é composto por alguns principais dispositivos, sendo eles:

- Coletores e Filtros;
- Tubulações;
- Equipamentos geradores de pressão;
- Válvulas rotativas.

4.1.1.1 Equipamentos geradores de pressão

São dispositivos responsáveis por gerar a pressão (ou o vácuo) necessária para a movimentação do material particulado, os compressores ou ventiladores, fornecendo a vazão necessária para o fluido fazer o transporte do particulado através das tubulações até seu destino (Filippo Filho, 2015).

O principal tipo de equipamento utilizado para sistemas pneumáticos é o ventilador centrífugo, que consistem de equipamentos com rotores que giram em altas rotações no interior de uma carcaça em espiral. O ar entra no ventilador na direção axial ao eixo de rotação e então é ejetado em um fluxo perpendicular ao eixo de aspiração pelo bocal de descarga.

Normalmente os ventiladores centrífugos são divididos em classificações de acordo com o tipo de rotor, podendo ser de pás voltadas para trás, com pás radiais ou rotor de pás curvadas para frente. “Os ventiladores centrífugos de pás para frente e para trás, só são usados quando não há transporte de partículas sólidas e líquidas. Os axiais são usados para grandes vazões e cargas moderadas de partículas” (Silva, 1970, p 129).

Figura 4.1 – Foto de um ventilador centrífugo



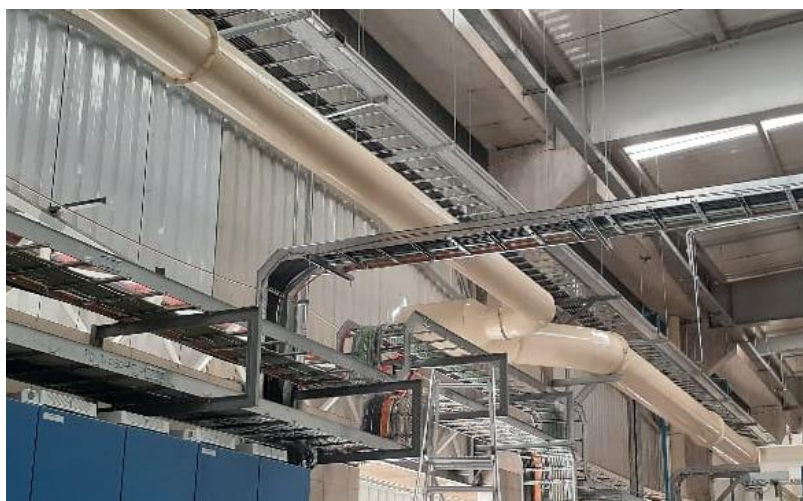
Fonte: Do autor

4.1.1.2 Tubulações

Dentro dos sistemas de transporte pneumático, as tubulações tem a função de conduzir a mistura de ar e particulados sólidos desde a entrada até a descarga do sistema, com o objetivo de transportar os particulados mantendo um fluxo de ar com velocidade uniforme ao longo do trajeto, isolando as seções internas do sistema evitando vazamentos.

Como aponta Mesquita (1988), o correto dimensionamento da tubulação tem uma importância grande no planejamento do sistema, uma vez que a utilização de acessórios, como válvulas, curvas e cotovelos influencia na perda de carga do sistema e, consequentemente no transporte do material. Além disso, a qualidade da instalação e do material, evitando saliências abruptas e o acúmulo de sólidos ao longo da tubulação evita desgaste excessivo e esforço desnecessário sobre o sistema.

Figura 4.2 – Foto de dutos de um sistema de transporte



Fonte: Do autor

4.1.1.3 Coletores e Filtros de Mangas

Os coletores são os dispositivos responsáveis por recolher as partículas sólidas no final da linha de transporte. Normalmente são utilizados ciclones ou filtros de mangas para sólidos finos, geralmente maiores que 5 μm . Já no caso de particulados de maior porte podem ser utilizados um silo de estocagem ou utilizar uma câmara gravitacional. (ZAULI – RIO BRANCO, 1979).

A utilização dos filtros é uma das mais antigas formas de remoção de partículas de um fluo gasoso, apresentando uma alta eficiência para uma ampla faixa de tamanhos de partículas. A separação das partículas ocorre quando o fluxo de gás carregado de partículas é forçado contra um meio poroso, os filtros, onde as partículas podem ser coletadas.

Os filtros podem ser de tecido, de leitos filtrantes, de painéis compactados, ultrafiltros ou sólidos porosos. No caso dos filtros de tecido, os mais utilizados na aplicação de controle de poluição do ar, podem ser de fios tecidos ou compactados, construídos na forma de tubos, sacos ou envelopes, como afirma Filippo Filho (2015).

Com relação à eficiência, filtros de tecido novos tem uma eficiência baixa (em torno de 60%) até que o material particulado comece a se depositar em seus poros, assim subindo sua eficiência para valores em torno de 90% ou mais.

Figura 4.3 – Foto de um filtro de mangas com ventilador centrífugo



Fonte: Do autor

4.1.1.4 Válvulas rotativas

As válvulas rotativas são dispositivos que realizam o controle da quantidade de material particulado que terá passagem através do sistema de transporte pneumático, podendo ser utilizados tanto em entradas quanto em saídas do sistema. Seu funcionamento ocorre com um

rotor com palhetas que, ao rotacionar, proporcionam o fluxo de material de forma constante, proporcionando o abastecimento de material na linha de transporte.

A vantagem da utilização de válvulas rotativas é a praticidade com o ajuste de vazão, uma vez que a taxa de carregamento de sólido é controlada pela velocidade de rotação da válvula, evitando entupimentos e sobrecarga de material nos dutos de transporte ou até mesmo na saída da linha, no bocal de descarga. (ZAULI – RIO BRANCO, 1979)

Figura 4.4 – Foto de uma válvula rotativa com rosca transportadora



Fonte: Do autor

4.2 INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA

O Brasil tem uma grande importância mundial na produção de painéis de madeira a partir de árvores plantadas, reunindo empresas ultramodernas que construíram parques industriais de última geração, com atualização constante das plantas já existentes, a fim de atender a demanda por esses materiais. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores, a Ibá, o consumo de chapas de madeira, sejam elas de aglomerado, MDP ou MDF, durante o primeiro semestre de 2021 atingiu 4,09 milhões de m³, representando um aumento de 44,1% em comparação aos 2,84 milhões de m³ alcançados nos seis primeiros meses de 2020. Dessa forma, a implantação de linhas contínuas de produção dentro das fábricas se torna uma realidade, permitindo realizar novos processos de impressão, de impregnação, revestimento e de pintura dentro da mesma planta.

Indústrias de painéis de madeira possuem como resíduo principal aqueles provenientes de subprodutos do corte da madeira, gerados em grande quantidade em forma de cavacos, serragem e poeira, evidenciando a necessidade da instalação de sistemas de exaustão local.

Além de ser um risco para o meio ambiente, os cavacos e pó gerados no processo podem se tornar um risco para o ambiente de trabalho, uma vez que as partículas de madeira se tornam altamente inflamáveis devido a sua maior área de contato. Assim, o processo de exaustão traz segurança e passa a gerar lucro para a empresa, reaproveitando esta matéria prima para diversos outros produtos, como briquetes e chapas produzidas a partir de fibras ou até mesmo geração de energia através da queima em fornos.

5 METODOLOGIA

Após a apresentação da metodologia estudada, será apresentada a aplicação da mesma no desdobramento do problema. Inicialmente serão apresentados exemplos de cálculos para cada tipo de componente utilizado e, no Tópico 6 (RESULTADOS E DISCUSSÕES), as tabelas com a resolução dos cálculos para todo o sistema.

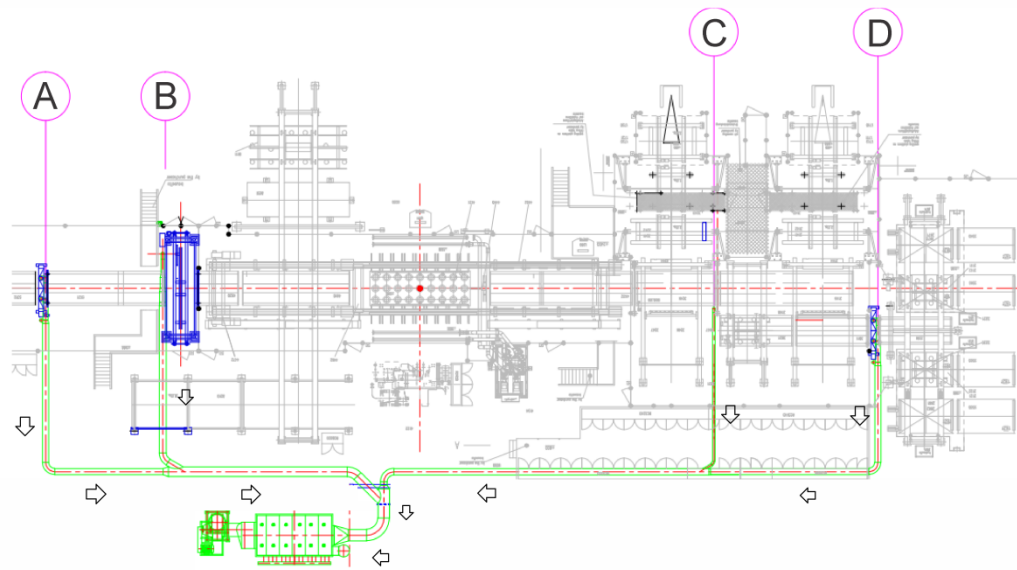
O sistema proposto é um sistema que capte o material ao longo da linha e leve o material ao longo de dutos aéreos até uma linha principal próxima à parede do pavilhão que então irá sair do pavilhão e seguir até um filtro de mangas que irá separar os resíduos do ar e depositá-los em uma caçamba de onde a empresa irá dar o devido fim.

O projeto proposto para o *layout* está apresentado nas figuras 5.1 e 5.2, onde as linhas verdes demonstram o esboço do sistema proposto, as letras são os pontos de captação e as setas indicam o sentido de movimentação do fluxo de ar com o particulado. Trata-se de um sistema que deve atender a um pavilhão composto por uma linha de produção com 11 pontos de captação de resíduos já pré-planejados pela fabricante dos equipamentos da linha. Devido ao fato de ser um material particulado que não necessita de um cuidado para evitar a sua contaminação, o material base para a produção de toda a linha é o aço carbono 1020, muito comum na indústria. Em caso de transporte de material que não pode ser contaminado, como os produtos da indústria alimentícia, por exemplo, seria indicada a utilização de um aço com maior durabilidade, como o aço inoxidável.

A Figura 5.1 apresenta o layout de toda a linha de produção, dando destaque para os pontos de captação de material que são levados através dos dutos para o filtro de mangas na parte inferior do projeto.

Como é possível observar na figura 5.1, os pontos (A), (B), (C) e (D) são os pontos de captação de material na linha. Nos pontos (A) e (D) existem 3 saídas de captação em cada ponto, no (B) existem 4 saídas de captação e no ponto (C) apenas uma saída.

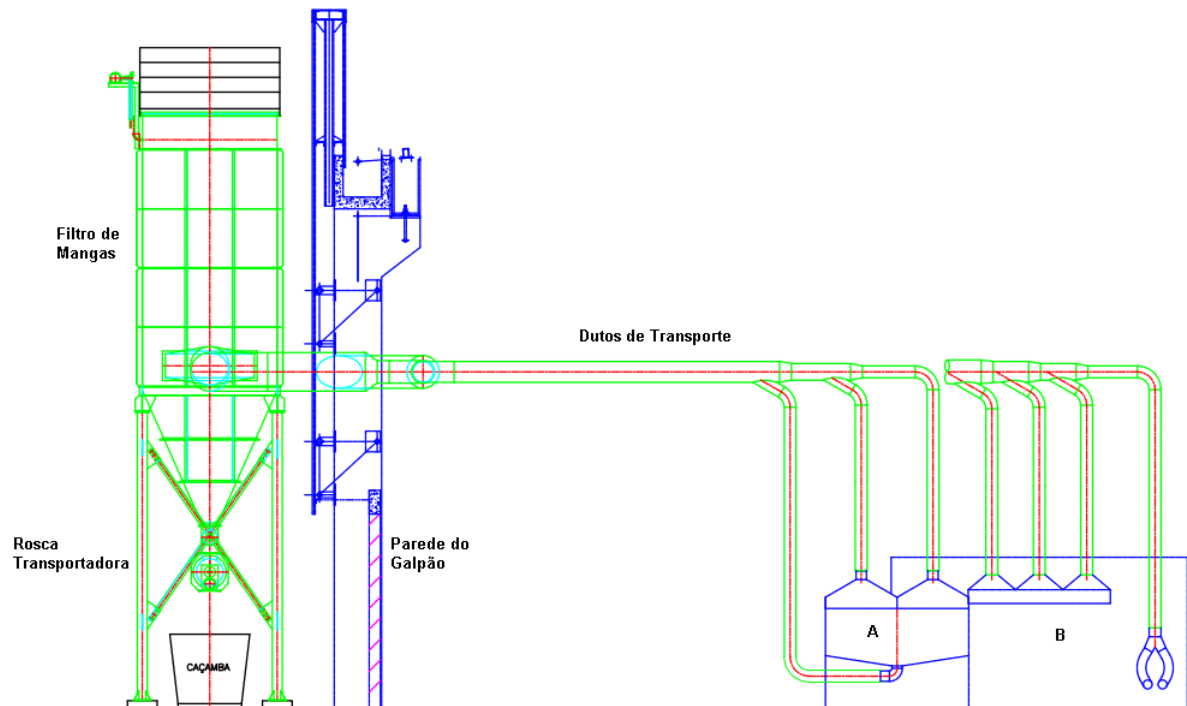
Figura 5.1 - Layout dos dutos na linha de produção



Fonte: Do autor

Já a Figura 5.2 apresenta o *layout* simplificado do sistema de uma visita lateral, dando destaque para os pontos de captação de material que são levados através dos dutos para o filtro de mangas na parte inferior do projeto.

Figura 5.2 - Vista lateral do *layout* simplificado dos dutos na linha de produção



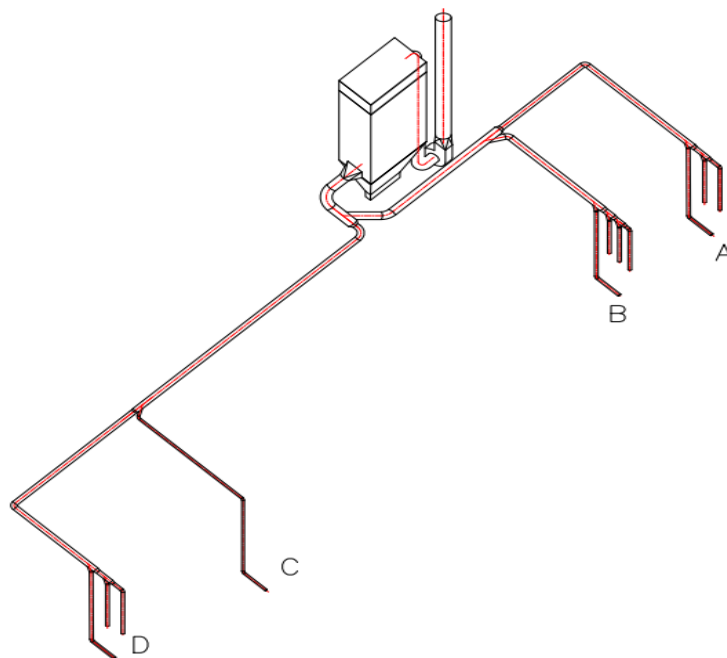
Fonte: Produção do próprio autor

A figura 5.3 apresenta o projeto do sistema em perspectiva isométrica da linha completa, possibilitando a análise da distribuição dos dutos dentro do pavilhão, garantindo que o sistema não interfira na produção da empresa e seja instalado de maneira que seja necessário o mínimo de adaptações na infraestrutura que a empresa já possui.

5.1 PROJETO DO SISTEMA

O projeto foi desenvolvido em software CAD para auxiliar na montagem e nos cálculos. No apêndice são mostradas as vistas isométricas com indicação de diâmetros e acessórios da linha. A figura 5.3 apresenta a vista isométrica de todo o sistema, onde as linhas pretas representam os equipamentos propostos para o sistema, incluindo, tubulações, filtro de mangas, rosca transportadora, e ventilador, as letras indicam os pontos de captação do sistema e as linhas em vermelho o fluxo de ar e particulado.

Figura 5.3 – Desenho isométrico do sistema completo



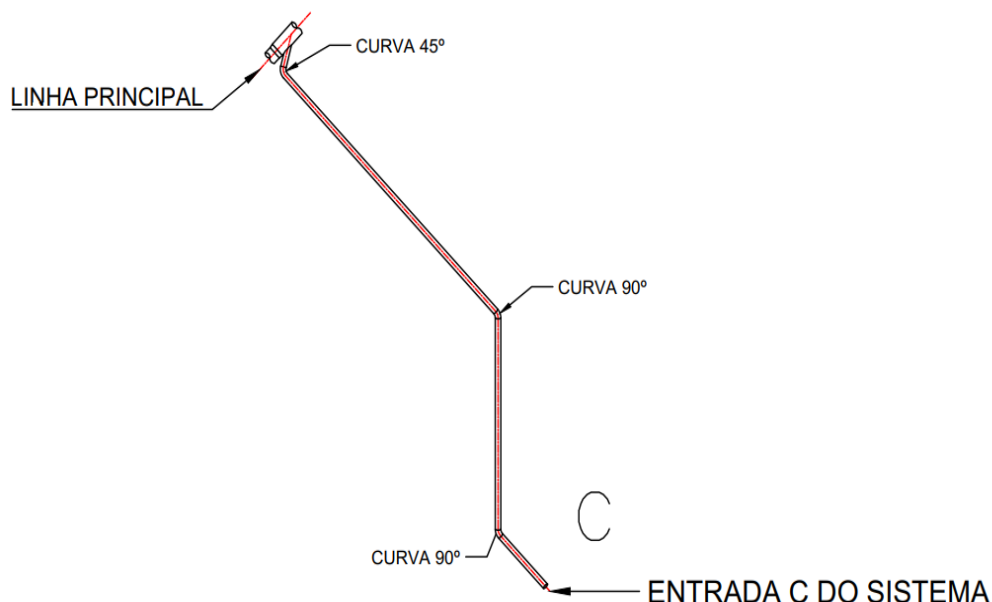
Fonte: Produção do próprio autor

5.2 RESOLUÇÃO DETALHADA PARA UM TRECHO DO SISTEMA

Para exemplificar a resolução dos cálculos, será apresentado com mais detalhes o

desenvolvimento referente à linha de dutos que sai do ponto (C) até a linha principal.

Figura 5.4 – Desenho isométrico da linha C à Linha Principal



Fonte: Produção do próprio autor

5.2.1 Dimensionamento de dutos

Para o desenvolvimento do presente trabalho, o método para o dimensionamento de dutos se baseia no cálculo da equação (1) que determina a vazão volumétrica (MESQUITA; GUIMARÃES; NEFUSSI, 1988):

$$Q = AV \quad (1)$$

onde Q é a vazão, em m³/s, V é a velocidade do fluxo, em m/s, e A é a área transversal da seção do duto, em m².

Normalmente se faz a utilização de dutos de seção circulares na ventilação industrial, por oferecerem velocidades de ar mais uniformes e inclusive, minimizando o acúmulo de material dentro do duto.

A perda de carga deve ser calculada em todos os trechos da tubulação, utilizando os valores de diâmetro e vazão de cada trecho, onde o diâmetro (D), em m, pode ser determinado através da equação (2) (MESQUITA; GUIMARÃES; NEFUSSI, 1988):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}} \quad (2)$$

Para o ponto (C), é informado pelo fabricante da linha que a saída possui uma velocidade de saída de 25 m/s em um duto com diâmetro de 135 mm (Anexo C). Dessa forma, aplicando a equação (1), pode-se calcular a vazão nesse ponto do sistema.

$$Q = \frac{\pi \cdot 0,135^2}{4} \cdot 25 = \mathbf{0,358 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Tendo os valores de vazão, diâmetro e área dos dutos, pode-se passar para os cálculos da perda de carga.

Na saída da máquina, no ponto C, é fornecida uma coifa que aumenta o diâmetro de 135 mm para 150 mm, assim, os dutos que seguem a partir deste ponto seguirão com a mesma medida, sendo então necessário recalcular a velocidade de escoamento uma vez que é sabida a vazão.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,358}{\frac{\pi \cdot 0,150^2}{4}} = \mathbf{20,26 \text{ m/s}}$$

5.2.2 Perda de carga nos dutos retos

Deve ser feito o dimensionamento do comprimento da tubulação e seu diâmetro, bem como o material de construção. Para essa determinação, a análise abrange todos os pontos de tubulação, incluindo curvas e acessórios. Dessa forma, para o cálculo de perda de carga em dutos circulares retos pode ser utilizada a equação (3), de Darcy-Weisbach (Filippo Filho, 2015):

$$\Delta p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} \quad (3)$$

onde Δp é a perda de carga, em m, f é o fator de atrito, adimensional, L o comprimento do duto, em m, D é o diâmetro do duto, em m, ρ é a massa específica do fluido, em kg/m^3 , e V a velocidade do ar em m/s.

O fator de atrito f pode ser determinado de diversas maneiras, como através da equação de Colebrook, diagrama de Moody ou pelas equações de Aldsul, Miller ou Haaland, sendo essas derivadas da equação de Colebrook e permitindo um elevado grau de precisão. Para este trabalho será utilizada a equação (4), conhecida como Equação de Haaland (Filippo Filho, 2015):

$$f = 0,3086 \cdot \left\{ \log \left[\left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \right\}^{-2} \quad (4)$$

em que ε é o valor da rugosidade absoluta, em mm, e Re é o número de Reynolds.

O número de Reynolds é um número adimensional que determina o regime de escoamento do fluido, calculado com a equação (5) (MELCONIAN, 2018):

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (5)$$

onde D é o diâmetro do duto, em m, ρ é a massa específica do fluido, em kg/m^3 , V a velocidade do fluido, em m/s, e μ é a viscosidade dinâmica do fluido, em N.s/m^2 .

Tendo a nova velocidade, utilizando a equação (5), pode-se calcular o número de Reynolds para o trecho C. No caso, considerando a temperatura do fluido de 30°C , a massa específica do ar utilizada será de $1,16 \text{ kg/m}^3$ e a viscosidade de $186,1 \times 10^{-7} \text{ N.s/m}^2$ (Incropera, 1990).

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{1,16 \cdot 20,26 \cdot 0,150}{186,1 \cdot 10^{-7}} = \mathbf{189.427}$$

Tendo o número de Reynolds do trecho é possível calcular o fator de atrito do mesmo, utilizando a equação (4) e com a rugosidade para o aço comercial de 0,05 mm (Filippo Filho, 2015).

$$f = 0,3086 \cdot \left\{ \log \left[\left(\frac{0,05}{\frac{150}{3,7}} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{195959} \right] \right\}^{-2} = \mathbf{0,017810}$$

Saindo do ponto (C), um duto de 1,8 m leva o fluido horizontalmente em direção à parede, um duto de 5,23 m leva o fluido até a altura de 5,4 m do solo, onde, após uma curva de 90°, um outro duto de 8,65 m leva o fluido até a linha principal que irá se unir aos outros dutos por bules para chegar ao ponto de entrada do filtro de mangas. Assim, totalizam-se 15,69 m de tubulação.

Tendo o comprimento da tubulação, calcula-se a perda de carga para os trechos retos de C à linha principal com a equação (3) (Melconian, 2018).

$$\Delta p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} = 0,017744 \cdot \frac{15,69}{0,150} \cdot 1,16 \cdot \frac{20,26^2}{2} = \mathbf{443,36 \text{ Pa}}$$

O Anexo A apresenta valores da rugosidade absoluta para os materiais comumente utilizados na indústria.

5.2.3 Perda de carga nas curvas

Para o cálculo das perdas de carga localizadas do sistema, em conexões, curvas e outros acessórios, foi utilizado o método do fator K. “Nesse método, a perda de carga é proporcional à componente de energia cinética, ou altura cinética, do escoamento ($V^2/2g$). A constante de proporcionalidade é o fator K, determinado para cada tipo de acessório” (Filippo Filho, 2015, p 69). A Equação (6) (Filippo Filho, 2015) é aplicada para esse cálculo, onde h_a é a perda de carga, em Pa, V é a velocidade do fluido, em m/s, g é a aceleração da gravidade, em m/s² e ρ é a massa específica do fluido, em kg/m³.

$$h_a = K \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} \quad (6)$$

No trecho em análise, do ponto (C) à linha principal existem duas curvas de 90° e uma curva de 45°, com valores do fator K de 0,4 e 0,2, respectivamente (Filippo Filho, 2015).

Para as curvas de 90° o cálculo foi:

$$h_a = K \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} = 0,4 \cdot 1,16 \cdot \frac{20,26^2}{2} = \mathbf{95,23 \text{ Pa}}$$

Como são duas curvas basta realizar a multiplicação do resultado por 2, totalizando **190,46 Pa**.

No caso da curva de 45°, o cálculo realizado foi:

$$h_a = K \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} = 0,2 \cdot 1,16 \cdot \frac{20,26^2}{2} = \mathbf{47,61 \text{ Pa}}$$

Dessa forma, a perda de carga total em curvas no segmento analisado $\Delta P_{\text{curvas}} = \mathbf{238,07 \text{ Pa}}$.

O fator K pode ser obtido através de diversas tabelas e fórmulas para o cálculo desse fator, pois ele varia principalmente pelo tipo de acessório, seu diâmetro e a forma de conexão do acessório nos dutos, como por exemplo, diferentes valores para acessórios soldados ou rosqueados. O Anexo B apresenta alguns valores do fator K para os principais acessórios.

5.2.4 Perda de carga em bules

Na entrada do duto principal, vindo do ponto (C), há um bule de uma entrada, com ângulo de 45°. Para o cálculo da perda de carga localizada nesse ponto será utilizado o método do fator K, onde o valor do fator utilizado é de 0,3, aplicado na equação (6) (Woods Of Colchester, 1970).

$$h_a = K \cdot \rho \cdot \frac{V^2}{2} = 0,3 \cdot 1,16 \cdot \frac{20,26^2}{2} = \mathbf{71,42 \text{ Pa}}$$

5.2.5 Perda de carga no captor

A perda de carga no captor foi dado pela empresa fabricante do equipamento de onde serão transportados os resíduos, assim, a perda de carga informada é de **80 mm de coluna de água** (Anexo C).

Uma vez apresentado um exemplo do cálculo das perdas para um trecho do sistema, o dimensionamento do filtro de mangas e a seleção do ventilador serão executados após a de-

monstração de todos os resultados do sistema, uma vez que se faz necessária a utilização dos valores totais de vazão e perda de carga do sistema.

5.3 DIMENSIONAMENTO DO FILTRO DE MANGAS

O dimensionamento do filtro de mangas se dá com a vazão total do sistema e a granulometria do material a ser deslocado.

A seleção do material da manga é informada pelo fabricante da manga de acordo com a granulometria do material. Assim, a seleção da quantidade de mangas é feito com o cálculo da área filtrante total que deve ser feita com a Equação (7) (ZAULI – RIO BRANCO, 1979):

$$A_{filtrante\ total} = \frac{Q_t}{A_{filtrante}} \quad (7)$$

onde $A_{filtrante\ total}$ (m²) é a área que o somatório de mangas deve ter para atender a demanda do sistema, Q_t (m³/h) é a vazão total do sistema e $A_{filtrante}$ (m³/h/m²) é a capacidade filtrante definida pelo material da manga.

Assim, tendo a área total de material filtrante necessário, faz-se a divisão por área filtrante de cada manga. Como as mangas são vendidas em formato cilíndrico, o cálculo da quantidade de mangas necessárias para o filtro se dá pela equação (8) (ZAULI – RIO BRANCO, 1979):

$$N_{mangas} = \frac{A_{filtrante\ total}}{\pi \cdot D \cdot H} \quad (8)$$

onde D (m) é o diâmetro da manga e H (m) é a altura da manga.

5.4 SELEÇÃO DO VENTILADOR

Existe uma gama gigantesca de ventiladores na indústria dos mais diversos fabricantes, sendo que cada um deles apresenta as características de cada modelo de sua produção para que se escolha aquele que mais se adeque às necessidades do seu projeto.

Normalmente esses valores são apresentados em forma das curvas características de cada modelo de ventilador ou tabelas com as características determinadas experimentalmente. “As características reais das máquinas são importantes para fins de seleção e análise de desempenho. Tais curvas relacionam altura útil de elevação, rendimento e potência em função

da vazão (H x Q; η x Q; P x Q).” (Filippo Filho, 2015, p 187). Assim, tendo os dados técnicos necessários para atingir no projeto, deve-se buscar um modelo que chegue o mais próximo das necessidades reais.

5.5 DIMENSIONAMENTO DA ROSCA TRANSPORTADORA

Para realizar o dimensionamento da rosca transportadora, utilizada para retirar o material dos cantos do fundo do filtro de mangas e mover para a válvula rotativa, é considerada a vazão máxima de material sólido por hora, determinada pela equação (9) (ZAULI – RIO BRANCO, 1979).

$$Q_{rosca} = D_{ext.}^2 \cdot 0,7854 \cdot P \cdot RPM \quad (9)$$

onde Q_{rosca} é a vazão da rosca, em m³/min, D_{ext} é o diâmetro da rosca, em m, P é o passo, em m, e RPM é a rotação da rosca. O passo normalmente tem o mesmo valor do diâmetro externo, mas ambos podem ser atribuídos empiricamente, desde que seja atendido o valor de vazão necessário e a velocidade de rotação não ultrapasse 110 rpm. (ZAULI – RIO BRANCO, 1979).

O consumo da rosca (Crosca) , em CV, é definido pela equação (10) (ZAULI – RIO BRANCO, 1979):

$$C_{rosca} = \frac{Q_{rosca} \cdot L \cdot f}{270} \quad (10)$$

onde Q_{rosca} é a vazão da rosca, em ton/h, L é o comprimento da rosca, em m e f é o fator de atrito, que varia de acordo com o material transportado.

Vale lembrar que o valor considerado para a vazão da rosca transportadora deve girar em torno de 140% do valor real de vazão de material sólido do sistema, a fim de evitar possíveis entupimentos.

5.6 DIMENSIONAMENTO DA VÁLVULA ROTATIVA

A válvula rotativa deve ter uma capacidade maior que a da rosca transportadora, e trabalhar com uma vazão próxima de 25% de sua capacidade máxima. Para determinar a

largura da válvula, pode-se adotar esta como um múltiplo de 1,1 vezes o valor do diâmetro. (ZAULI – RIO BRANCO, 1979). Adotando-se essa proporção, o cálculo da vazão, em m³/h, é expresso pela equação (11) (ZAULI – RIO BRANCO, 1979):

$$Q_{val} = D^3 \cdot 11,66319 \cdot n \quad (11)$$

onde D é o diâmetro da válvula, em m, e n é a rotação em rpm.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 RESOLUÇÃO DA PERDA DE CARGA PARA O SISTEMA

Após apresentar a solução dos cálculos detalhados para um trecho de dutos do sistema, as tabelas a seguir (6.1 à 6.8) demonstrarão os resultados obtidos para as demais linhas do sistema, seguindo os mesmos princípios exemplificados no tópico 6.2.

Os pontos do sistema, utilizados para os cálculos dos trechos de dutos e perdas de carga, estão demonstrados na figura do Apêndice A.

6.1.1 Dados fornecidos do equipamento produtor de resíduos

Na tabela 6.1 encontram-se os dados fornecidos pelo fabricante do equipamento (Anexo C) de onde serão transportados os resíduos, necessários para o dimensionamento do sistema de exaustão.

Tabela 6.1 – Dados iniciais do problema

Pontos	Saída de Extração Superior				Saída de Extração Inferior			
	Quant.	Diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Perda de carga (mmca)	Quant.	Diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)	Perda de carga (mmca)
A	2	175	30	120	1	175	20	120
B	3	175	35	120	1	200	35	120
C	0	-	-	-	1	135	25	80
D	2	175	30	120	1	175	20	80

Fonte: Fornecido pela empresa de painéis

6.1.2 Dimensionamento dos dutos retos

Na tabela 6.2 se encontram os diâmetros, velocidades e as vazões em cada trecho de dutos do sistema, sendo as vazões calculadas pela equação (1) a partir dos valores de velocidade e área dos dutos.

Tabela 6.2 – Dimensionamento dos dutos retos

Segmento	Diâmetro (mm)	Área (m²)	Comprimento (m)	Velocidade (m/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/h)
A-1	200	0,03141593	1,800	15,313	0,481	1731,803
A-2	200	0,03141593	3,055	22,969	0,722	2597,704
A-3	200	0,03141593	3,355	22,969	0,722	2597,704
1-4	200	0,03141593	5,235	15,313	0,481	1731,803
2-3	200	0,03141593	1,205	22,969	0,722	2597,704
3-4	280	0,06157522	1,205	23,438	1,443	5195,409
4-5	350	0,09621128	8,070	20,000	1,924	6927,212
B-6	200	0,03141593	1,800	35,000	1,100	3958,407
B-7	200	0,03141593	2,864	26,797	0,842	3030,655
B-8	200	0,03141593	2,830	26,797	0,842	3030,655
B-9	200	0,03141593	2,804	26,797	0,842	3030,655
6-10	200	0,03141593	5,235	35,000	1,100	3958,407
7-8	200	0,03141593	0,800	26,797	0,842	3030,655
8-9	280	0,06157522	0,800	27,344	1,684	6061,310
9-10	350	0,09621128	1,004	26,250	2,526	9091,965
10-11	400	0,12566371	7,528	28,848	3,625	13050,372
C-12	150	0,01767146	1,800	20,260	0,358	1288,249
12-13	150	0,01767146	5,235	20,260	0,358	1288,249
13-14	150	0,01767146	8,650	20,260	0,358	1288,249
D-15	200	0,03141593	1,800	15,313	0,481	1731,803
D-16	200	0,03141593	3,055	22,969	0,722	2597,704
D-17	200	0,03141593	3,355	22,969	0,722	2597,704
15-18	200	0,03141593	5,235	15,313	0,481	1731,803
16-17	200	0,03141593	1,205	22,969	0,722	2597,704
17-18	280	0,06157522	1,205	23,438	1,443	5195,409
18-19	350	0,09621128	8,070	20,000	1,924	6927,212
5-11	350	0,09621128	6,638	20,000	1,924	6927,212
11-20	550	0,23758294	10,460	23,357	5,549	19977,584
19-14	350	0,09621128	9,305	20,000	1,924	6927,212
14-20	370	0,10752101	18,150	21,224	2,282	8215,461
21-22	650	0,33183072	1,036	23,601	7,831	28193,045
23-24	880	0,60821234	6,050	12,876	7,831	28193,045
25-26	880	0,60821234	8,970	12,876	7,831	28193,045

Fonte: Produção do próprio autor

6.1.3 Perda de carga nos dutos retos

A tabela 6.3 apresenta os valores da perda de carga para cada segmento, tendo como base os valores de velocidade encontrados no tópico 6.2.2 e utilizando as equações (3), (4) e (5) para o cálculo.

Tabela 6.3 – Perda de carga nos dutos retos

Segmento	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Velocidade (m/s)	Reynolds	f	ΔP (Pa)
A-1	200	1,800	15,313	190892	0,017292	21,17
A-2	200	3,055	22,969	286338	0,016517	77,20
A-3	200	3,355	22,969	286338	0,016517	84,78
1-4	200	5,235	15,313	190892	0,017292	61,56
2-3	200	1,205	22,969	286338	0,016517	30,45
3-4	280	1,205	23,438	409054	0,015369	21,07
4-5	350	8,070	20,000	436325	0,014932	79,88
B-6	200	1,800	35,000	436325	0,015900	101,68
B-7	200	2,864	26,797	334061	0,016271	97,04
B-8	200	2,830	26,797	334061	0,016271	95,89
B-9	200	2,804	26,797	334061	0,016271	95,01
6-10	200	5,235	35,000	436325	0,015900	295,70
7-8	200	0,800	26,797	334061	0,016271	27,11
8-9	280	0,800	27,344	477230	0,015146	18,77
9-10	350	1,004	26,250	572676	0,014535	16,66
10-11	400	7,528	28,848	719254	0,014038	127,52
C-12	150	1,800	20,260	189427	0,017810	50,88
12-13	150	5,235	20,260	189427	0,017810	147,97
13-14	150	8,650	20,260	189427	0,017810	244,50
D-15	200	1,800	15,313	190892	0,017292	21,17
D-16	200	3,055	22,969	286338	0,016517	77,20
D-17	200	3,355	22,969	286338	0,016517	84,78
15-18	200	5,235	15,313	190892	0,017292	61,56
16-17	200	1,205	22,969	286338	0,016517	30,45
17-18	280	1,205	23,438	409054	0,015369	21,07
18-19	350	8,070	20,000	436325	0,014932	79,88
5-11	350	6,638	20,000	436325	0,014932	65,70
11-20	550	10,460	23,357	800755	0,013457	80,98
19-14	350	9,305	20,000	436325	0,014932	92,10
14-20	370	18,150	21,224	489496	0,014676	188,10
21-22	650	1,036	23,601	956198	0,013025	6,71
23-24	880	6,050	12,876	706283	0,013149	8,69
25-26	880	8,970	12,876	706283	0,013149	12,89

Fonte: Produção do próprio autor

A temperatura do fluido considerada foi de 30°C e a aceleração da gravidade igual a 9,81 m/s² (Melconian, 2018). A massa específica do ar utilizada será de 1,16 kg/m³, com uma viscosidade de 186,1x10⁻⁷ N.s/m³ (Incropera,1990). A rugosidade para o aço comercial utilizada (ϵ) foi de 0,05mm (Filippo Filho, 2015).

6.1.4 Perda de carga nas curvas

A tabela 6.4 apresenta os valores da perda de carga para as curvas do sistema, dividida em segmentos, considerando os valores do fator K de 0,2 para curvas de 45° e 0,4 para curvas de 90° (Filippo Filho, 2015).

Tabela 6.4 – Perda de carga nas curvas

Segmento	Velocidade (m/s)	Curvas 45°	Curvas 90°	ΔP (Pa)
A-1	15,313	0	1	54,40
A-2	22,969	0	1	122,39
A-3	22,969	1	0	61,20
1-4	15,313	1	0	27,20
4-5	20,000	0	1	92,80
B-6	35,000	0	1	284,20
B-7	26,797	0	1	166,59
B-8	26,797	1	0	83,30
B-9	26,797	1	0	83,30
6-10	35,000	1	0	142,10
10-11	28,848	1	0	96,53
C-12	20,260	0	1	95,23
12-13	20,260	0	1	95,23
13-14	20,260	1	0	47,61
D-15	15,313	0	1	54,40
D-16	22,969	0	1	122,39
D-17	22,969	1	0	61,20
15-18	15,313	1	0	27,20
18-19	20,000	0	1	92,80
11-20	23,357	1	0	63,29
14-20	21,224	0	1	104,51
20-21	23,601	0	1	129,22
23-24	12,876	0	2	76,93

Fonte: Produção do próprio autor

6.1.5 Perda de carga em bules, expansões e reduções

A tabela 6.5 apresenta os valores da perda de carga para os bules, expansões e reduções do sistema. Foram projetados todos os bules com um ângulo de 45°, com um fator K de 0,3 (Woods Of Colchester, 1970). O fator K das expansões e reduções varia de acordo com o tamanho do diâmetro inicial e final, a fonte desses valores se encontra no anexo E.

Tabela 6.5 – Perda de carga nos Bules, Expansões e Reduções

Segmento	Velocidade (m/s)	Quant. de Bules	Quant. de Expansões	Fator K da Ex-pansão	ΔP (Pa)
A-3	22,969	1	0	0	91,80
1-4	15,313	1	0	0	40,80
2-3	22,969	0	1	0,15	45,90
3-4	23,438	0	1	0,075	23,90
B-8	26,797	1	0	0	124,94
B-9	26,797	1	0	0	124,94
6-10	35,000	1	0	0	213,15
7-8	26,797	0	1	0,15	62,47
8-9	27,344	0	1	0,075	32,52
9-10	26,250	0	1	0,05	19,98
10-11	28,848	1	0	0	144,80
13-14	20,260	1	0	0	71,42
D-17	22,969	1	0	0	91,80
15-18	15,313	1	0	0	40,80
16-17	22,969	0	1	0,15	45,90
17-18	23,438	0	1	0,15	47,79
5-11	20,000	0	1	0,3	69,60
11-20	23,357	1	0	0	94,93
19-14	20,000	0	1	0,05	11,60
14-20	21,224	0	1	0,48	125,41
21-22	23,601	0	1	0,5	161,53
23-24	48,945	0	1	0,5	694,72
	12,876		1	0,075	7,21

Fonte: Produção do próprio autor

6.2 DIMENSIONAMENTO DO FILTRO DE MANGAS

O dimensionamento do filtro de mangas se dá com a vazão total do sistema e seu esboço de projeto pode ser observado na Figura 6.5. No caso em estudo, a vazão total do sistema é de 28.193 m³/h.

O material em questão é o pó de madeira com granulometria informada pela empresa em torno de 0,2 mm. Para o pó de madeira, o tipo de manga filtrante indicada pelo fabricante (Renner Têxtil Ltda) é o feltro agulhado de poliéster, com gramatura de 550 g/m², com capacidade filtrante de 107 m³/h/m², ou 1,8 m³/min/m². As mangas escolhidas foram mangas com diâmetro de 150 mm x 3.100 mm de altura. Dessa forma, a área filtrante total deve ser de:

$$A_{filtrante\ total} = \frac{Q_t}{C_{filtrante}} = \frac{28.193}{107} = \mathbf{262,95\ m^2}$$

Enquanto o número de mangas é dado por:

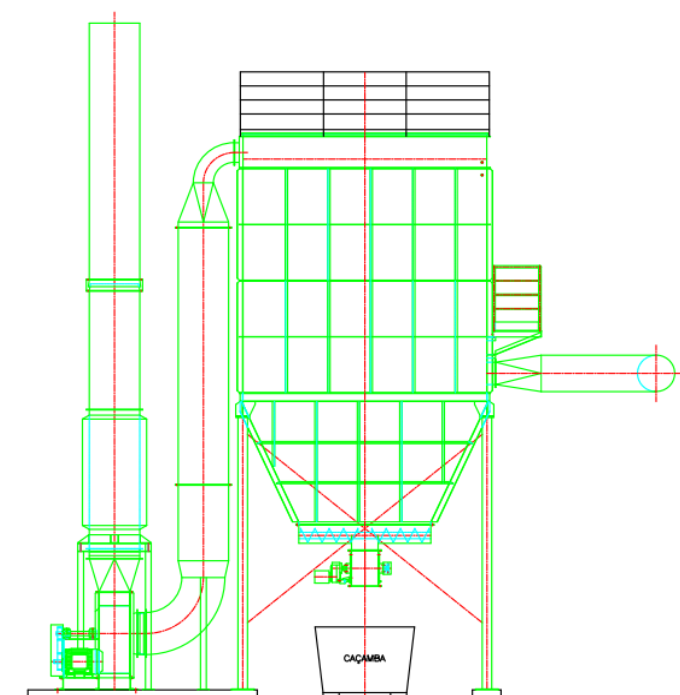
$$N_{mangas} = \frac{A_{filtrante\ total}}{\pi \cdot D \cdot H} = \frac{262,95}{\pi \cdot 0,15 \cdot 3,1} = \mathbf{180\ mangas}$$

Assim, o filtro de mangas foi dimensionado para ter 18 fileiras com 10 mangas cada.

O sistema de limpeza empregado no filtro será um dispositivo *pulse jet* com controle eletrônico da válvula de escape acionada por uma solenoide, que libera ar com alta pressão na saída de ar das mangas para fazer com que o pó que está preso nas mangas caia e seja depositado no fundo do filtro.

A perda de carga do filtro de mangas é determinada empiricamente e varia entre 60 e 120 mmca onde, para efeito de segurança, será adotado o maior valor.

Figura 6.5 – Layout do Filtro de mangas com o ventilador centrífugo



Fonte: Produção do próprio autor

6.3 SELEÇÃO DO VENTILADOR

Para selecionar o ventilador deve ser escolhido um que vença a maior perda de carga apresentada por um único trecho e seja capaz de gerar uma vazão volumétrica maior ou igual à total do sistema, bem como uma velocidade que atenda aos cálculos de velocidade para transporte. A tabela abaixo mostra a soma das perdas de carga distribuídas e localizadas de todos os segmentos do sistema, apresentados nas tabelas anteriores (6.1 à 6.5) e, incluindo os valores nos captores e dutos depois do filtro e do ventilador.

Tabela 6.6 – Perda de carga total dos segmentos

Segmento	ΔP (mmca)
A-Saída do Sistema	447,547
B-Saída do Sistema	540,018
C-Saída do Sistema	320,120
D-Saída do Sistema	372,837

Fonte: Produção do próprio autor

O trecho em negrito na tabela (6.6) apresenta o valor do trecho com maior perda de carga a ser considerada para a seleção do ventilador.

Tendo os valores de todo o sistema calculados, é possível buscar com os dados um ventilador que atenda as especificações observando as curvas e planilhas para a seleção do ventilador. Na Tabela 6.7, são apresentados os dados obtidos a partir da planilha característica do ventilador CLB – 70 – T1.

Tabela 6.7 – Dados para seleção do ventilador

Q (m³/min)	P (mmca)	Eficiência (%)	CV
91,41	580,30	51	19,3
182,82	595,37	59	29,2
274,23	602,92	78	39,3
365,64	595,37	83	48,6
457,05	561,46	84	56,6
469,88	541,54	84	62,2
548,46	482,33	80	76,2
639,87	346,67	68	85,6
731,28	165,80	39	95,0

Fonte: Produção do próprio autor

A Tabela 6.8 apresenta as características técnicas do ventilador selecionado com base nos dados do trabalho. O apêndice F apresenta a curva característica simplificada do ventilador, plotada com os dados retirados da Tabela 6.7.

Tabela 6.8 – Características Técnicas do Ventilador

Modelo	CLB - 70 - T1
Vazão de ar (m³/min)	470 m ³ /min
Pressão (mmca)	542
Rotação (rpm)	2665
Consumo (CV)	62
Temperatura (°C)	30
Velocidade Periférica (m/s)	97,6 m/s
Motor Elétrico	75 CV, 4 pólos
Quantidade	1 Ventilador

Fonte: Produção do próprio autor

6.4 DIMENSIONAMENTO DA ROSCA TRANSPORTADORA

A rosca transportadora utilizada terá como base o valor de 8,6 m³/h de material, informado pela empresa. Assim, deve-se adotar valores de diâmetro e rotação onde o

resultado da vazão seja maior ou igual o valor de 21,5 m³/h de material, o que equivale a 0,358 m³/min. Para o passo, o valor utilizado será de 250 mm e 270 mm para o diâmetro, assim, a determinação da rotação será determinada por:

$$RPM = \frac{0,358}{0,270^2 \cdot 0,7854 \cdot 0,250} = \mathbf{25 \text{ rpm}}$$

A conversão da vazão de material para ton/h, considerando a massa específica de material igual a 150 kg/m³, se dá por:

$$Q_{ton} = \frac{8,6 \cdot 150}{1000} = \mathbf{1,3 \text{ ton/h}}$$

Tendo o valor da rotação, vazão e comprimento da rosca, sendo esta projetada para ter um comprimento de 2,2 m, e considerando o fator de atrito para o material igual a 8 (ZAULI – RIO BRANCO, 1979), o consumo da rosca é dado por:

$$C_{rosca} = \frac{Q_{rosca} \cdot L \cdot f}{270} = \frac{1,3 \cdot 2,2 \cdot 8}{270} = \mathbf{0,08 \text{ CV}}$$

Por ser um valor muito pequeno de potência, deverá ser utilizado um motor de 3 CV para a rosca transportadora, a fim de evitar possíveis travamentos no caso de acúmulo de material.

6.5 DIMENSIONAMENTO DA VÁLVULA ROTATIVA

Considerando novamente o valor da vazão de material de 8,6 m³/h, a válvula rotativa deve trabalhar com uma capacidade de 34,7 m³/h, o que equivale a 0,58 m³/min. Adotando um diâmetro de 450 mm e uma largura de 495 mm, a rotação deverá ser de:

$$n = \frac{Q_{val}}{D^3 \cdot 11,66319} = \frac{34,7}{0,450^3 \cdot 11,66319} = \mathbf{33 \text{ rpm}}$$

onde R é o raio da válvula, em m, L é o comprimento da válvula, em m, n é a rotação em rpm.

7 CONCLUSÃO

O trabalho mostra um possível layout de um sistema de exaustão de resíduos particulados em uma linha de produção de painéis de madeira utilizando transporte pneumático com ventilador centrífugo, um filtro de mangas com rosca transportadora e uma válvula rotativa para a separação do particulado sólido no final da linha de exaustão.

Foram apresentados todos os conceitos utilizados, as especificações da indústria para o projeto da linha de transporte e dos acessórios necessários, os cálculos de perda de carga, características para seleção do ventilador e dimensionamento do filtro de mangas.

Os resultados apresentados ao longo do projeto demonstram as principais características no desenvolvimento de um sistema de transporte pneumático para transporte de material particulado, sistema esse que é muito utilizado em diversos meios da indústria, comprovando que os objetivos foram alcançados, uma vez que todos os cálculos são apresentados e demonstram que o sistema proposto atende às demandas necessárias para alcançar com eficiência o transporte e a filtragem do material particulado, permitindo que este material seja reutilizado ou descartado corretamente no final do processo. Assim, pode servir como base não só para outros projetos da indústria de painéis de madeira, mas também projetos para indústria moveleira, alimentícia, de mineração, entre outras, uma vez que são sistemas com grande eficiência e auxiliam o processo produtivo de diversos ramos industriais, garantindo segurança e rendimento dentro da linha de produção.

REFERÊNCIAS

FILIPPO FILHO, Guilherme. **Bombas, ventiladores e compressores: fundamentos**. São Paulo: Érica, 2015.

IBÁ. **Dados estatísticos**. [São Paulo, SP: Indústria Brasileira de Árvores, 2017]. Disponível em: <https://www.iba.org/dados-estatisticos>. Acesso em: 05 fev. 2022.

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

MELCONIAN, Sarkis. **Sistemas fluidomecânicos: hidráulica e pneumática**. São Paulo: Érica, 2018.

MESQUITA, Armando Luís de Souza; GUIMARÃES, F. A.; NEFUSSI, N.. **Engenharia de ventilação industrial**. 2. ed. São Paulo: Cetesb, 1988.

SILVA, Remi Benedito. **Ventilação**. 2. ed. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1970.

WOODS OF COLCHESTER. **Guía práctica de la ventilación**. Barcelona: Blume, 1970.

ZAULI – RIO BRANCO. **Transporte pneumático**. São Paulo: (Apostila), 1979.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

COMMITTEE ON INDUSTRIAL VENTILATION. **Industrial ventilation**: a manual of recommended practice. 16. ed. Lansing: American Conference Of Governmental Industrial Hygienists, 1980.

EID, Guilherme T. **Dimensionamento de um sistema de exaustão local em uma indústria moveleira**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T.; PRITCHARD, Philip J.; MICHTELL, John W.. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

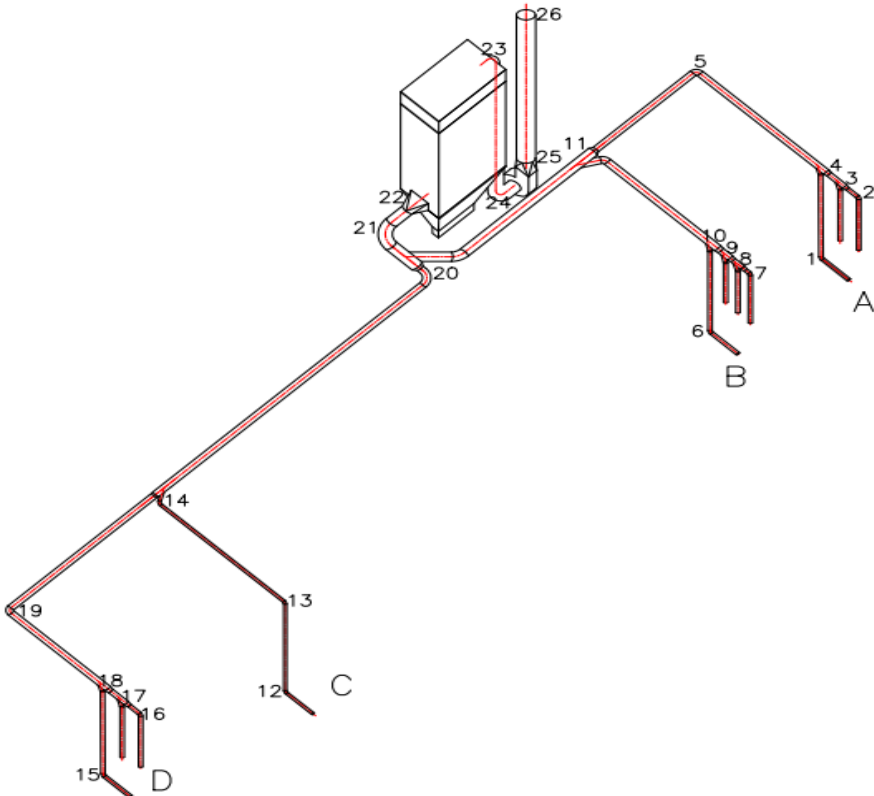
NOGUEIRA, A. C. R; CLEZAR, C. A. **Ventilação industrial**. 2. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

SCHEIBEL, Matheus. **Avaliação e dimensionamento de um sistema de transporte pneumático em uma indústria de leite em pó**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2018.

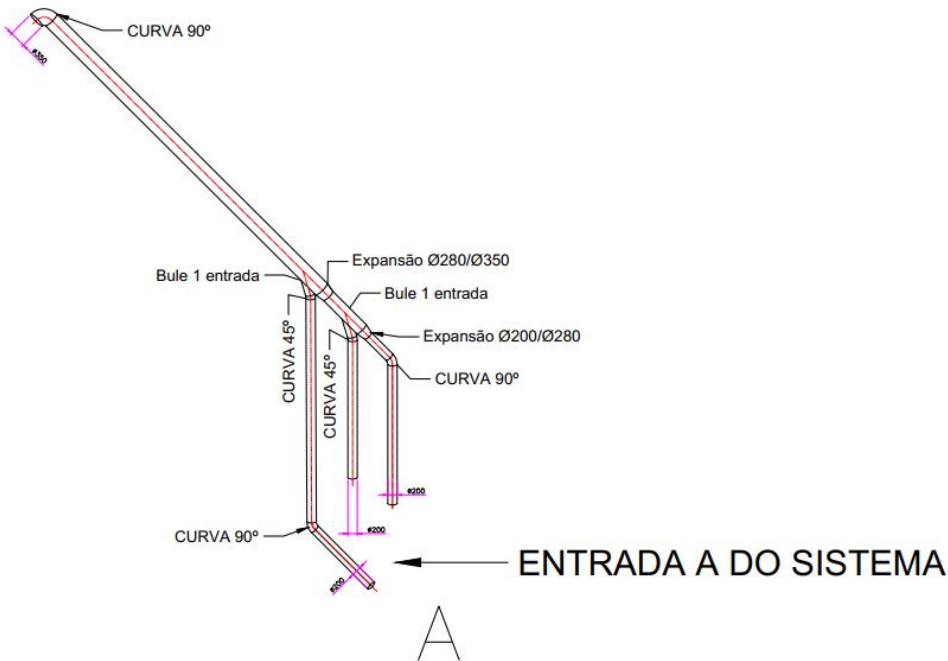
TEIXEIRA, Ciro. **Transporte pneumático**: conceitos e especificações. Rio de Janeiro: Bonecker, 2019.

APÊNDICES

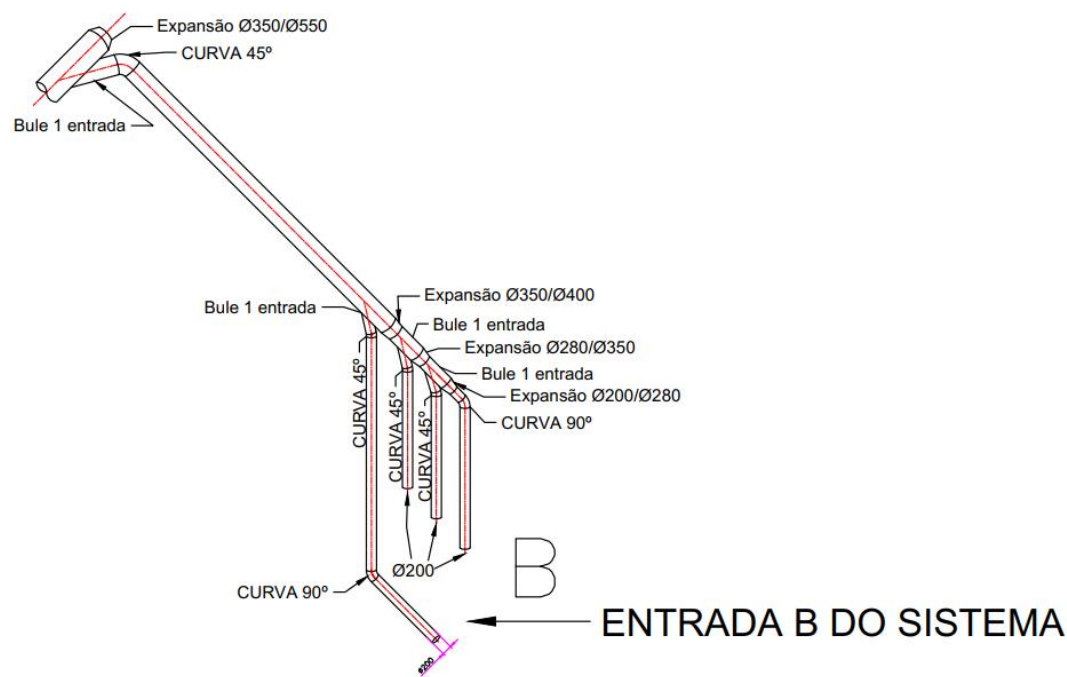
APÊNDICE A – Vista isométrica dos trechos do sistema



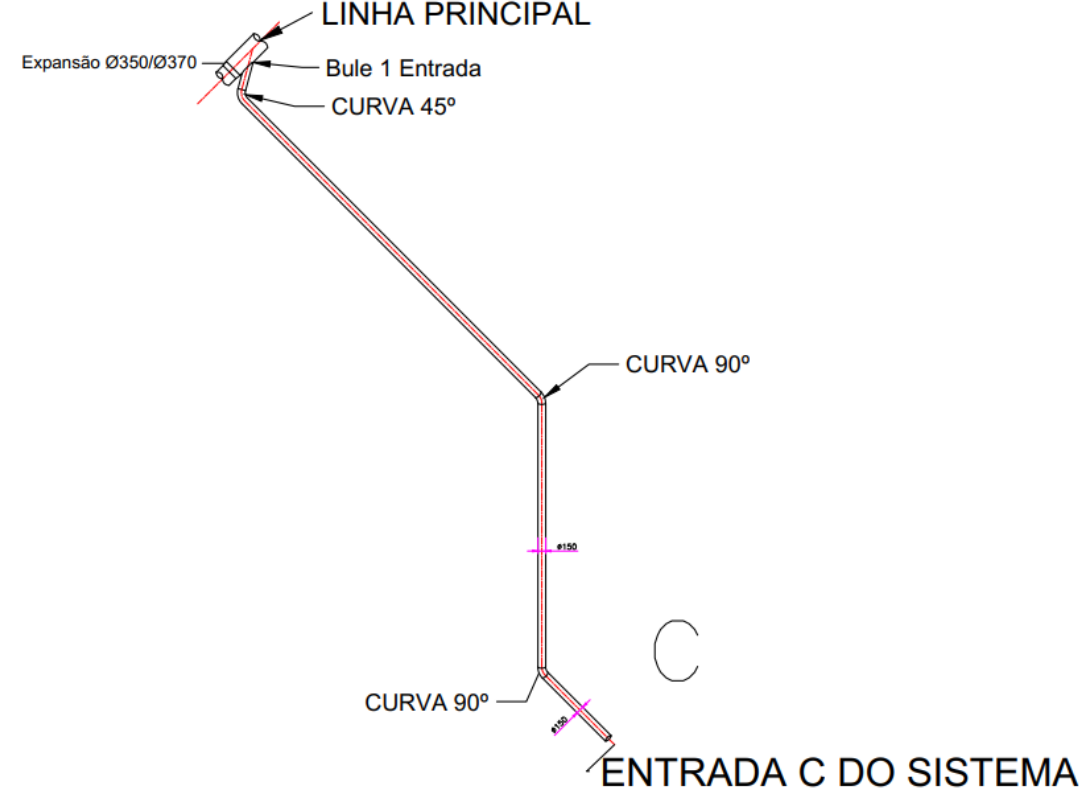
APÊNDICE B – Vista isométrica do trecho A – Linha Principal



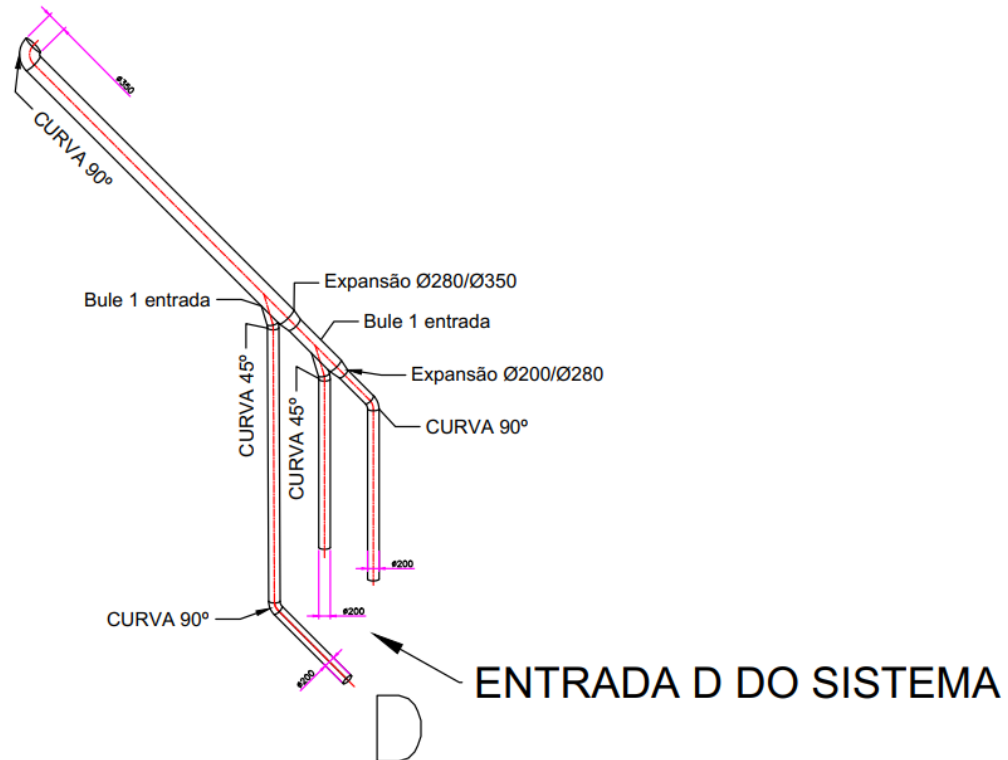
APÊNDICE C – Vista isométrica do trecho B – Linha Principal



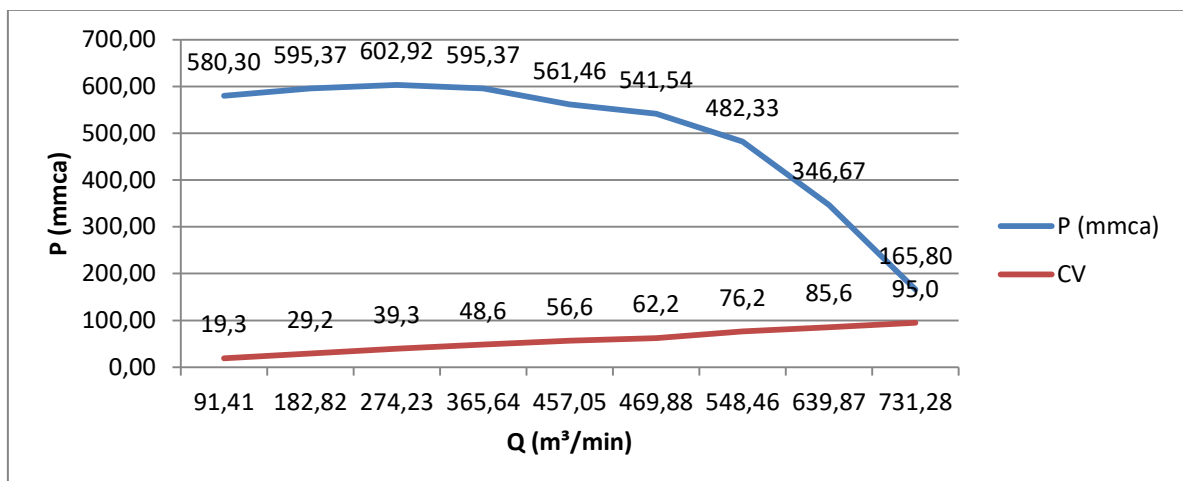
APÊNDICE D – Vista isométrica do trecho C – Linha Principal



APÊNDICE E – Vista isométrica do trecho D – Linha Principal



APÊNDICE F – Curva Q x P do ventilador CLB – 70 – T1



ANEXOS

ANEXO A – Valores de ε (rugosidade relativa) de materiais comuns na indústria (Filippo Filho, 2015).

Material	ε [mm]
Plásticos e vidros	0 (tubo liso)
Cobre	0,0015
Aço inox	0,002
Aço comercial	0,05
Aço galvanizado	0,1 – 0,15
Ferro fundido	0,26
Ferro fundido revestido com cimento	0,12 – 0,18
Concreto	0,5

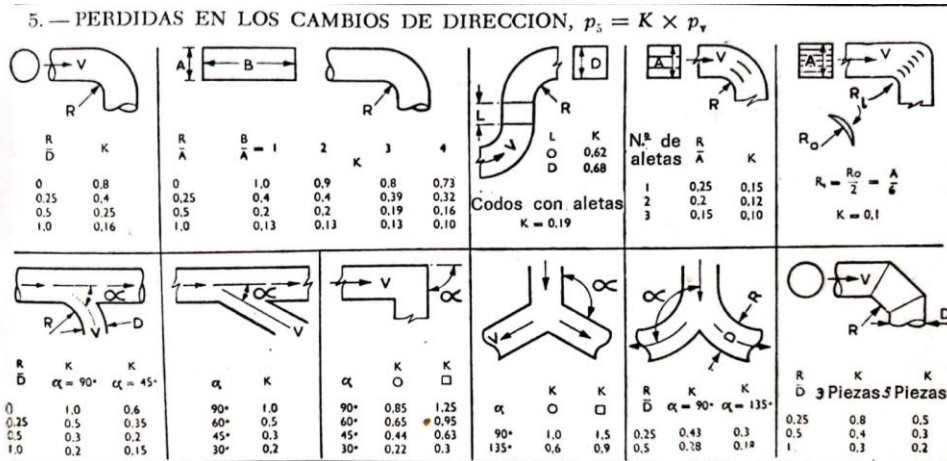
ANEXO B – Valores do fator K para os principais acessórios (Filippo Filho, 2015).

Acessório	K (rosca)	K (solda, flange)
Curva 45°	-	0,20
Cotovelo 45°	0,40	-
Curva 90°	0,70	0,40
Cotovelo 90°	1,5	0,90
Curva 180°	1,5	0,90
Tê em linha	0,90	0,60
Tê saída lateral	2,0	1,0
União, luva, niple	0,08	0,08
Redução	$K = 0,1 (1 - D2/D1)$	
Conexão em tanques	$0,5 < K < 1,3$	
Descarga livre	1,0	
Válvula gaveta (aberta)	0,15	
Válvula esfera (aberta)	0,05	
Válvula globo (aberta)	6,0	
Acessório	K (rosca)	K (solda, flange)
Válvula retenção tipo mola	2,5	
Válvula retenção tipo disco	12,0	
Válvula retenção tipo portinhola	0,8	
Crivo (filtro)	1,7	

ANEXO C – Dados iniciais do problema, fornecidos pelo cliente (Adaptado).

Technische Daten zur Absauganlage					
Technical data of the extraction system					
Revision : 0 08.02.2021					
Gruppe / group	Gruppenbezeichnung denomination group	Absaugstutzen oben upper extraction stub	Absaugstutzen unten lower extraction stub	Luftgeschwindigkeit oben upper air speed	Luftgeschwindigkeit unten lower air speed
D	Bürstenmaschine für Rohplatten brushing machine for raw boards	2 x DN 175 mm	1 x DN 175 mm	30 m/s 120 mm WS	20 m/s 80 mm WS
C	Saugriemenbahn - Radialgebläse suction belt conveyor - radial fan	—	1 x DN 135 mm	—	25 m/s 80 mm WS
B	Kantenbesäumvorrichtung edge trimming device	3 x DN 175 mm	—	35 m/s 120 mm WS	—
B	Kantenbesäumvorrichtung Abfalltransportband edge trimming device waste conveyor belt	—	1 x DN 200 mm	35 m/s 120 mm WS	35 m/s 120 mm WS
A	Bürstenmaschine für Fertigplatten brushing machine for finished boards	2 x DN 175 mm	1 x DN 175 mm	30 m/s 120 mm WS	20 m/s 120 mm WS

ANEXO D – Perdas de carga em mudanças de direção (Woods Of Colchester, 1970).



ANEXO E – Perdas de carga em expansões e reduções (Woods Of Colchester, 1970).

