



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
DIRETORIA GERAL DO CAMPUS JOÃO PESSOA
DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

BRUNO HENRIQUE BARBOSA SOARES

**DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE EXAUSTÃO PARA CABINES DE
SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO, DO IFPB CAMPUS JOÃO PESSOA,
COM BASE NA ANÁLISE DE RISCOS**

JOÃO PESSOA

2024

BRUNO HENRIQUE BARBOSA SOARES

**DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE EXAUSTÃO PARA CABINES DE
SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO, DO IFPB CAMPUS JOÃO PESSOA,
COM BASE NA ANÁLISE DE RISCOS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Mecânica como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de bacharel.

Orientadora: Prof. Dra. Maria Margareth Rolim Martins
Rocha
Coorientador: Prof. Dr. Claudio Boezzio de Araújo

JOÃO PESSOA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha do IFPB, *campus* João Pessoa

S676d Soares, Bruno Henrique Barbosa.

Desenvolvimento do sistema de exaustão para cabines de soldagem por eletrodo revestido do IFPB *campus* João Pessoa, com base na análise de riscos / Bruno Henrique Barbosa Soares. – 2024.

70 f. : il.

TCC (Graduação – Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação da Paraíba / Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Mecânica, 2024.

Orientação : Prof^a Dra. Maria Margareth R. Martins Rocha.

Coorientação : Prof. Dr. Claudio Boezzio de Araújo.

1. Engenharia mecânica. 2. Dimensionamento do sistema de exaustão. 3. Segurança do trabalho. 4. Soldagem. 5. Saúde ocupacional. I. Título.

CDU 621.791:331.45(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

FOLHA DE APROVAÇÃO

BRUNO HENRIQUE BARBOSA SOARES

201921140018

**DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE EXAUSTÃO PARA CABINES DE
SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO, DO IFPB CAMPUS JOÃO PESSOA, COM
BASE NA ANÁLISE DE RISCOS.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO apresentado em **03/10/2024**

no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Curso Superior de Engenharia Mecânica, como requisito institucional para a obtenção do **Grau de BACHARELADO em ENGENHEIRO MECÂNICO**

Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA:

(assinaturas eletrônicas via SUAP)

Dra. Maria Margareth Rolim Martins Rocha (IFPB)

Orientadora

Prof. Cláudio Boezzio de Araújo(IFPB)

Coorientador

Dra. Michelline Nery Azevedo Lima (IFPB)

Examinador interno

Dr. Marcio Gomes da Silva (IFPB)

Examinador interno

Documento assinado eletronicamente por:

- **Maria Margareth Rolim Martins Rocha**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/10/2024 11:30:36.
- **Michelline Nery Azevedo Lima**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/10/2024 11:16:26.
- **Marcio Gomes da Silva**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/10/2024 13:41:15.
- **Claudio Boezio de Araujo**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/10/2024 16:13:03.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 20/10/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código 622419
Verificador: 37f34c8ee4
Código de Autenticação:



Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, JOAO PESSOA / PB, CEP 58015-435
<http://ifpb.edu.br> - (83) 3612-1200

Dedicatória

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus pois “[...] *quer comais, quer bebais, ou façais qualquer outra coisa, fazei tudo para a glória de Deus*” – 1 Coríntios 10:31.

Em segundo lugar, dedico aos meus pais, que me apoiaram em todo momento durante minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha gratidão a Deus, pois sem Ele eu não teria a forças necessárias para trilhar este caminho.

Agradeço à minha família, o qual todo esforço e apoio foram essenciais para trilhar meu futuro. Sem vocês, nada disso seria possível.

Minha sincera gratidão à minha noiva, por todo o suporte ao longo dessa Caminhada. Seu apoio foi essencial para que eu pudesse seguir em frente.

Agradeço especialmente a minha orientadora, Maria Margareth Rocha, e ao meu coorientador Claudio Boezio, por todo o auxílio e orientação, que foram de suma importância para o sucesso deste trabalho.

Também gostaria de reconhecer o professor Cleber Tourinho, cuja ajuda e dedicação foram de grande importância para a conclusão deste TCC.

A todos, meu mais sincero obrigado.

RESUMO

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de exaustão para as cabines de soldagem por eletrodo revestido (CSER) do Instituto Federal da Paraíba – Campus João Pessoa (IFPB), com o objetivo de melhorar a segurança e a saúde dos usuários, mitigando os riscos associados à exposição a fumos metálicos. A importância dessa atividade reside na necessidade de garantir um ambiente de trabalho seguro e em conformidade com as normas de segurança ocupacional. A metodologia adotada incluiu a análise das condições atuais das cabines de soldagem, a identificação dos riscos presentes e o dimensionamento e desenho esquemático do sistema de exaustão, por meio de medições e softwares de desenho para desenvolver o projeto do sistema de exaustão nas CSER. Os resultados demonstram a necessidade de adequações nas cabines, alinhando-as às normas vigentes. Além disso, o trabalho aborda aspectos teóricos relevantes, como as especificações do laboratório de soldagem, os riscos associados à atividade e a importância de um sistema de exaustão eficiente. Também são discutidas as normas regulamentadoras (NR) e as boas práticas que devem ser seguidas para garantir a excelência e segurança no ambiente de trabalho. As conclusões alcançadas indicam ser imprescindível a implementação do sistema de exaustão a fim de garantir a saúde e segurança dos trabalhadores nas CSER. A hipótese de que um sistema adequado poderia reduzir significativamente a exposição a contaminantes foi confirmada, e os resultados sugerem que a aplicação prática das recomendações propostas contribuirá para um ambiente de trabalho mais seguro e saudável.

Palavras-chave: Dimensionamento do sistema de exaustão; segurança do trabalho; soldagem; saúde ocupacional; IFPB.

ABSTRACT

This work proposes the development of an exhaust system for the coated electrode welding booths (CSER) of the Instituto Federal da Paraíba – Campus João Pessoa (IFPB), with the aim of improving the safety and health of users, mitigating the risks associated with exposure to metal fumes. The importance of this activity lies in the need to ensure a safe work environment in compliance with occupational safety standards. The methodology adopted included the analysis of the current conditions of the welding booths, the identification of the risks present and the dimensioning and schematic design of the exhaust system, through precise measurements and design software to develop the best possible design of the exhaust system in the CSER. The results demonstrate the need for adjustments in the booths, aligning them with current standards. In addition, the work addresses relevant theoretical aspects, such as the specifications of the welding laboratory, the risks associated with the activity and the importance of an efficient exhaust system. The regulatory standards (NR) and good practices that must be followed to ensure excellence and safety in the workplace are also discussed. The conclusions reached indicate that the implementation of the exhaust system is crucial to ensure the health and safety of workers in CSER. The hypothesis that an adequate system could significantly reduce exposure to contaminants was confirmed, and the results suggest that the practical application of the proposed recommendations will contribute to a safer and healthier work environment.

Keywords: exhaust sizing; occupational safety; welding; occupational health; IFPB.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ACGIH** *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*
- ANVISA** Agência Nacional de Vigilância Sanitária
- ASHRAE** *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*
- CSER** Cabines de Soldagem por Eletrodo Revestido
- EPC** Equipamentos de Proteção Coletiva
- EPI** Proteção Individual
- IFPB** Instituto Federal da Paraíba
- LS** Laboratório de Soldagem
- MAG** *Metal Active Gas*
- MIG** *Metal Inert Gas*
- MMA** *Manual Metal Arc*
- NR** Norma Regulamentadora
- SMAW** *Shielded Metal Arc Welding*
- TIG** *Tungsten Inert Gas*
- Vc** Velocidade de captura

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos do processo de soldagem arco elétrica	18
Figura 2 – O sistema respiratório e as dimensões das partículas.....	22
Figura 3 – Ventilação natural (espontânea).....	25
Figura 4 – Ventilação geral diluidora	25
Figura 5 – Ventilação local exaustora.....	26
Figura 6 – Influência da distância na vazão de exaustão	28
Figura 7 – Captores de abertura circular com flange (B) e sem flange (A) – perfis de velocidade e linhas de fluxo	28
Figura 8 – Esquemática do local de estudo – CSER – IFPB.....	34
Figura 9 – Vista Frontal das CSER – Laboratório de Soldagem – IFPB/João Pessoa	35
Figura 10 – Limitações Ergonômicas nas CSER.....	39
Figura 11 – Iluminação inadequada nas CSER	41
Figura 12 – Riscos elétricos das CSER.....	42
Figura 13 – A, B, C, D, E, F: Deficiências na Sinalização e Uso de Cores das CSER	44
Figura 14 – Vista do topo das CSER	47
Figura 15 – Captor cilíndrico	48
Figura 16 – Redes de Dutos	50
Figura 17 - Dispositivo de controle de poluição.....	52
Figura 18 – Curva com dois gomos	53
Figura 19 – Derivações 45 graus	53
Figura 20 – Tabela de tipos de captores.....	54
Figura 21 – Interface do software EASYVENT.....	55
Figura 22 – Ventiladores pré-selecionados	56
Figura 23 – Ventiladores do sistema de exaustão das CSER.....	56
Figura 24 – Isométrica do modelo 3D	57
Figura 25 – Vista frontal e superior do modelo 3D	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Categoria, Riscos e Prevenções em uma CSER.....	20
Quadro 2 – Velocidade de captura em função das condições de geração.....	29
Quadro 3 – Velocidade de captura em função da operação	29
Quadro 4 – Velocidade em dutos de acordo com cada material	30
Quadro 5 – Classificação dos ventiladores	32
Quadro 6 – Medidas de Prevenção Contra Incêndios.....	43
Quadro 7 – Cores para segurança de acordo com NBR 7195	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distância do captor até o ponto de operação.....	29
Tabela 2 – Resultado das variáveis.....	49
Tabela 3 – Resultado do Dutos da CSER.....	50
Tabela 4 – Resultado da perda de carga localizada	52
Tabela 5 – Resultado das perdas de cargas nos acessórios	53
Tabela 6 – Resultado da perda de carga do sistema	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo Geral	14
1.2 Objetivos Específicos	14
1.3 Justificativa	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Laboratório de Soldagem (LS)	16
2.1.1 Definições e Especificações Gerais.....	16
2.1.2 Segurança Ocupacional em Laboratório de Soldagem.....	17
2.2 A Soldagem Arco Elétrico com Eletrodo Revestido	18
2.3 Cabine de Soldagem Arco Elétrico por Eletrodo Revestido	19
2.3.1 Riscos existentes nas CSER.....	19
2.4 Risco Químico: Fumos Metálicos de Solda	21
2.4.1 Prevenção quanto à contaminação com gases fumo metálicos.....	23
2.5 Sistema de Ventilação	24
2.5.1 Ventilação Local Exaustora.....	26
2.5.2 Captor	27
2.5.3 Sistemas de dutos	30
2.5.4 Ventilador	31
2.5.5 Dispositivo de controle de poluição do ar	32
3 METODOLOGIA	34
3.1 Abordagem/Tipo de Estudo	34
3.2 Material e Instrumentos de Pesquisa	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Análise das Cabines de Soldagem com Eletrodo Revestido no IFPB	38
4.1.1 Análise de Segurança das CSER com Foco na Ergonomia.....	38
4.1.2 Análise de Segurança das CSER com Foco na Iluminação.....	40
4.1.3 Análise de Segurança das CSER com Foco nas Instalações Elétricas	42
4.1.4 Análise de Segurança das CSER com Foco nos Riscos de Incêndio	43
4.1.5 Análise de Segurança das CSER com Foco na Sinalização e Cores.....	44
4.1.6 Análise de Segurança das CSER com Foco nos Fumos Metálicos.....	46
4.2 Projeto de Sistema de Exaustão	48
4.2.1 Seleção do captor e determinação de sua vazão	48
4.2.2 Determinação da rede de dutos	49

4.2.3 Cálculo de perda de carga do sistema.	52
4.2.4 Determinação da máquina de fluxo.....	55
4.2.5 Modelo tridimensional do sistema de exaustão	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
REFERÊNCIAS.....	60
ANEXOS	64

1 INTRODUÇÃO

A soldagem emerge como o principal método empregado para unir componentes em diversas indústrias. Sua aplicação abrange desde a conexão de pequenos elementos eletrônicos até a construção de imponentes estruturas e equipamentos, sendo fundamental em setores como construção naval, civil, ferroviária, aeronáutica, automobilística e agrícola (Santos, 2015).

No entanto, apesar dos avanços tecnológicos, a soldagem ainda apresenta diversos riscos à saúde, como a exposição aos fumos de solda que se dispersam no ar, radiação excessiva e a ocorrência de acidentes (Santos, 2015). Embora os métodos de soldagem tenham se modernizado e se tornado mais eficientes, os perigos associados à saúde do soldador continuam significativos (Ferrari, 2021).

De acordo com Macintyre (1990), a prevenção da propagação de contaminantes no ar exige a captura desses contaminantes na fonte de sua produção. Portanto, sistemas de exaustão são essenciais para evitar doenças e melhorar as condições de trabalho. É papel da engenharia desenvolver soluções adequadas para garantir ambientes laborais saudáveis, incluindo sistemas de ventilação industrial dimensionados conforme o risco dos poluentes envolvidos e a remoção eficiente de fumos gerados na fonte de emissão (Santos, 2015).

Dentro do laboratório de soldagem, onde muitos ingressam sem experiência profissional prévia, deve-se priorizar constantemente o aprimoramento das condições de trabalho, não apenas para garantir um ambiente propício ao aprendizado, mas também priorizar a segurança dos usuários. Os serviços de soldagem podem acarretar riscos ergonômicos, demandando precauções para evitar problemas como fadiga, dores lombares, tenossinovites e tendinites. Apresentam também outros riscos a serem considerados, como ruído, temperaturas extremas, iluminação deficiente e ao choque elétrico. A adoção de cores e sinalizações adequadas é essencial para indicar zonas de soldagem e áreas de perigo. Adicionalmente, as fiscalizações periódicas e manutenção são vitais para garantir uma efetiva segurança laboral, complementando os esforços de prevenção e proteção já estabelecidos no ambiente de aprendizagem (Almeida; Ruppenthal, 2002).

Evidencia-se, assim, que o laboratório de soldagem do Instituto Federal da Paraíba – IFPB é um ambiente fundamental para a realização de aulas práticas e a formação acadêmica dos discentes. No entanto, a falta de padronização em relação a segurança do trabalho e à ausência de um sistema de exaustão adequado para os fumo-metálicos nas cabines de soldagem por eletrodo revestido (CSER) representam desafios significativos que exigem atenção

imediate. Garantir a saúde e o bem-estar dos usuários das cabines é essencial para assegurar um ambiente seguro e propício ao aprendizado.

1.1 Objetivo Geral

Apresentar uma proposta de um projeto de sistema de exaustão de fumo-metálicos, baseada na análise de risco, visando à readequação das cabines de soldagem por eletrodo revestido (CSER), que atenda às normas de segurança do trabalho.

1.2 Objetivos Específicos

- Analisar os aspectos de segurança ocupacional relacionados às CSER do IFPB, determinando as necessidades básicas concernentes à prevenção de riscos em potencial nesses ambientes;
- Dimensionar um sistema de exaustão local e realizar seu desenho esquemático, de maneira a garantir a eficiência do modelo.

1.3 Justificativa

A presente pesquisa se justifica em função da relevância que uma readequação das cabines de soldagem por eletrodo revestido do laboratório do IFPB e a implementação de um sistema de exaustão eficiente promoverá à segurança ocupacional das CSER. Portanto, este trabalho pretende oferecer uma contribuição significativa nesse sentido, fornecendo uma sugestão que visa mitigar os riscos associados à exposição a gases fumo-metálicos.

Faz-se importante garantir a implementação de um sistema de exaustão adaptado ao ambiente laboral específico, não apenas poderá proteger os usuários de possíveis danos à saúde, mas também promoverá uma cultura de segurança que é essencial para o funcionamento adequado do laboratório. Afinal, segundo o estabelecido pela Norma 34.5.4 - Controle de fumos e contaminantes (Brasil, 2017), é necessário implementar as seguintes medidas para controlar fumos e contaminantes decorrentes dos trabalhos a quente: providenciar renovação de ar adequada para eliminar gases, vapores e fumos gerados durante os processos de soldagem e outros trabalhos a quente.

A exposição prolongada a gases fumo-metálicos, em qualquer ambiente, e não apenas nas CSER, pode resultar em uma série de problemas de saúde, incluindo doenças respiratórias

e dermatites, entende-se que o sistema de exaustão proposto desempenhará um papel de suma importância nesse sentido, ao eliminar eficientemente os contaminantes do ar, garantindo assim um ambiente de trabalho mais seguro e saudável para todos os envolvidos.

Este projeto visa aprimorar as medidas de prevenção de riscos existentes nas CSER, alinhando-as com as normas existentes, evitando problemas legais com a fiscalização externa e tornando mais dinâmica a atividade realizada, conforme as necessidades específicas das cabines de soldagem e seus operadores. Assim, este alinhamento entre a proposta do sistema de exaustão e a readequação das CSER do IFPB é essencial para garantir a eficácia das medidas de segurança implementadas e para promover um ambiente de trabalho seguro e saudável para todos os usuários do laboratório.

No presente trabalho serão discutidos aspectos relacionados às especificações do Laboratório de Soldagem, a própria Soldagem Arco Metálica e as cabines de soldagem, buscando sempre apresentar uma discussão a respeito das normas envolvidas e as boas práticas que garantem a excelência e segurança nesses ambientes, terminando, por uma exposição a respeito do sistema de exaustão de gases fumo-metálicos, sua importância e suas variadas formatações e disponibilidades.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, foi abordado o embasamento teórico necessário para o entendimento do presente trabalho de conclusão de curso, explorando os elementos pertinentes ao ambiente de trabalho em soldagem, englobando o espaço laboral dedicado a esse fim, o processo de soldagem arco elétrico por eletrodo revestido e as cabines específicas para essa modalidade. Serão discutidos os conceitos fundamentais, as características básicas, as normativas oficiais e as exigências de segurança ocupacional para os profissionais envolvidos nesse contexto. Além disso, também será explorado teoricamente o papel essencial do sistema de exaustão na prevenção de riscos, destacando-se a relevância da aplicação das normas de segurança do trabalho para garantir um ambiente laboratorial seguro e protegido.

2.1 Laboratório de Soldagem (LS)

2.1.1 Definições e Especificações Gerais

O laboratório de tecnologia em processos de soldagem engloba uma estrutura física especializada e uma equipe dedicada ao desenvolvimento de técnicas de soldagem. No âmbito acadêmico, esses laboratórios representam um ambiente fundamental para o ensino, pesquisa, extensão e inovação. Localizado dentro de uma instituição de ensino superior, como uma universidade ou faculdade técnica, o laboratório de soldagem desempenha um papel significativo no contexto acadêmico. Quando equipados com tecnologias de ponta, esses espaços proporcionam aos alunos experiência prática nos mais modernos equipamentos utilizados na indústria, como os processos *metal inert gas* (MIG), *metal active gas* (MAG), eletrodo revestido, oxi-acetileno e a *tungsten inert gas* (TIG). Essa diversidade de processos não apenas atende às demandas das aulas práticas, mas também oferece espaço para a realização de várias atividades atreladas ao ensino que envolvam a soldagem, fundição e tratamentos térmicos (Univale, 2022).

Além de seu papel educativo, os laboratórios de soldagem também desempenham uma importante função na prestação de serviços à comunidade, por meio de consultorias técnicas para empresas locais e treinamento de pessoal, contribuindo para o avanço da indústria e a capacitação profissional. Em uma perspectiva mais ampla, as linhas de pesquisa voltadas para os processos de soldagem buscam absorver, desenvolver e aprimorar tecnologias modernas, bem como dispositivos e acessórios aplicáveis a esses processos. Os laboratórios de soldagem

representam um espaço para o aprendizado prático, mas também devem ser considerados como um centro de inovação e transferência de tecnologia a serviço da comunidade (Univale, 2022).

2.1.2 Segurança Ocupacional em Laboratório de Soldagem

A segurança e a saúde ocupacional concentram-se na prevenção de acidentes e doenças, gerenciando os perigos e riscos das atividades, com base na conformidade com os requisitos legais e organizacionais (Costa Neto, 2017).

No Brasil anualmente, ocorrem números significativos de acidentes de trabalho, resultando em mortes ou incapacidades permanentes aos trabalhadores. A saúde e a segurança ocupacional não apenas preservam o bem-estar físico, mental e social dos trabalhadores, mas também visam prevenir efeitos adversos à saúde, promovendo um ambiente seguro e saudável (Ferreira; Peixoto, 2012).

Para garantir a segurança e eficácia de um LS, é preciso utilizar uma série de precauções para proteger os trabalhadores e minimizar os perigos de acidentes e doenças ocupacionais. No território brasileiro, as diretrizes de segurança no ambiente laboral são estipuladas pela Portaria nº. 3.214 do Ministério do Trabalho (Brasil, 1978), que abrange atualmente 38 normas regulamentadoras conhecidas como NR, as quais vêm sendo ocasionalmente modificadas para se adequarem às novas realidades da contemporaneidade. Além disso, vale salientar a importância das Normas Brasileiras emitidas pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, juntamente com quaisquer outras determinações pertinentes (Dutra, 2022).

A NR-1 (Brasil, 2022) assume um papel fundamental na segurança dos LS e destaca princípios, como a priorização da vida e saúde do trabalhador, a precaução e a responsabilidade do empregador, norteados as ações de prevenção. A Análise de Riscos Ocupacionais identifica os perigos presentes no LS, como riscos físicos (ruído, radiação), químicos (fumos, gases) e ergonômicos (posturas inadequadas).

A NR-1 (Brasil, 2022) também exige a implementação de medidas de controle para eliminar ou reduzir os riscos, como o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e Equipamentos de Proteção Coletiva (EPCs), além de capacitação e treinamento dos trabalhadores para a correta utilização das medidas de segurança. A comunicação clara e transparente entre empregador e trabalhadores sobre os riscos e medidas de controle é essencial para garantir um ambiente de trabalho seguro e saudável no LS.

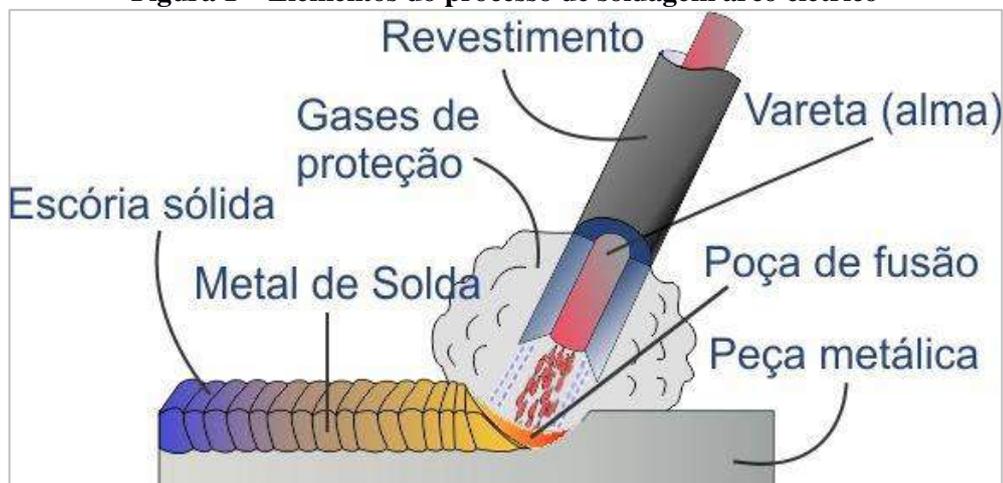
2.2 A Soldagem Arco Elétrico com Eletrodo Revestido

De acordo com o Guia de segurança do soldador das indústrias TREAL (2022), o processo de soldagem é fundamentado na união de duas ou mais peças construtivas, garantindo a continuidade do material na junta soldada, por consequência, preservando suas propriedades mecânicas e químicas. Ao longo do tempo, os métodos de soldagem industrial passaram por significativas evoluções, desenvolvendo-se de acordo com as técnicas mais apropriadas para a junção de diferentes tipos de metais, conforme a finalidade da montagem da peça e os equipamentos disponíveis. Assim, atualmente, uma variedade de técnicas de soldagem é adotada pelas indústrias para atender às demandas específicas de cada aplicação.

Neste contexto, no presente trabalho, foi descrito em detalhes a técnica de soldagem manual com eletrodo revestido, conhecida como MMA (*Manual Metal Arc*) ou SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), fornecendo uma compreensão abrangente de seus princípios.

A soldagem MMA, ainda amplamente utilizada na indústria, faz uso de um eletrodo revestido com um fluxo consumível que desempenha um papel decisivo na realização da soldagem. Ao fornecer uma corrente elétrica através de um equipamento apropriado, um arco elétrico é formado entre o eletrodo e a peça metálica, facilitando a união das partes. De acordo com a Figura 1, pode-se observar os elementos de processo de soldagem arco elétrico. O revestimento do eletrodo se funde e vaporiza porção fundida contribui para a formação do cordão de solda, enquanto a escória resultante é removida, os gases vaporizados criam uma atmosfera protetora que impede a poça de fusão de ser afetada pelos efeitos adversos do oxigênio presente no ar, promovendo assim uma soldagem eficaz e de qualidade (Nederman, 2010).

Figura 1 – Elementos do processo de soldagem arco elétrico



Fonte: Heavy Duty (2016)

2.3 Cabine de Soldagem Arco Elétrico por Eletrodo Revestido

O trabalho de Silva (2003) destaca a importância do posto de trabalho como a menor unidade produtiva. Um posto de trabalho bem projetado não apenas garante o bem-estar do trabalhador, mas também pode aumentar a produtividade e garantir a segurança. Por outro lado, um posto mal projetado pode resultar em queixas, doenças ocupacionais e problemas na manutenção da produtividade e qualidade do trabalho.

Existem duas categorias de postos de trabalho do soldador, conforme descrito por Wanders *et al.* (1992 *apud* Silva, 2003): fixo e variável. Os postos fixos permanecem no mesmo local, enquanto no posto variável é o soldador que se desloca ao longo do produto. As CSER analisadas neste estudo se enquadram na categoria de postos fixos.

Uma CSER é um ambiente projetado para fornecer proteção aos usuários e ao ambiente circundante, a fim de maximizar a segurança e a eficiência durante o processo de soldagem. Geralmente feita de materiais resistentes ao calor e ao fogo, como metal ou plástico termofixo (resistente ao calor), a cabine oferece um espaço fechado ou parcialmente fechado para o trabalho do soldador.

2.3.1 Riscos existentes nas CSER

De acordo com Barkokébas (2015), os riscos podem ser subdivididos em duas categorias principais: ambientais e de segurança. Os riscos ambientais englobam os físicos, químicos e biológicos, enquanto os riscos de segurança incluem os ergonômicos e os de acidente. Esses perigos, presentes nos ambientes de trabalho, representam ameaças à saúde dos trabalhadores devido à sua natureza, concentração e tempo de exposição, sendo classificados em cinco grupos, conforme a NR-9.

No Quadro 1, estão descritos os diversos tipos de riscos existentes em uma CSER categorizados em Categoria, Riscos e Prevenções.

Quadro 1 – Categoria, Riscos e Prevenções em uma CSER

Categoria	Riscos	Prevenções
Riscos Físicos	Ruído; Temperaturas extremas (CALOR); Radiações não ionizantes; Ventilação inadequada; Iluminação do local de trabalho.	<ul style="list-style-type: none"> – Utilização de equipamentos de proteção individual (EPIs); – Monitoramento regular do nível de ruído e temperatura no ambiente de trabalho; – Implementação de medidas de controle, como isolamento acústico – Garantir a retirada eficiente dos fumos de solda, principalmente da zona de respiração do soldador – Garantir pontos de iluminação em quantidade e intensidade adequadas e suficientes para a realização do trabalho
Riscos Químicos	Poeiras; Fumos; Gases;	<ul style="list-style-type: none"> – Uso de EPIs apropriados, como máscaras respiratórias e óculos de proteção; – Ventilação adequada nos locais de trabalho para dispersão de vapores e gases;
Riscos Biológicos	Bactérias; Vírus; Fungos; Parasitas.	<ul style="list-style-type: none"> – Utilização de EPIs adequados, como luvas e máscaras de proteção facial; – implementação de medidas de controle de infecções, como limpeza regular dos locais de trabalho e descarte adequado de materiais contaminados.
Riscos Ergonômicos	Postura inadequada de trabalho.	<ul style="list-style-type: none"> – Adequação ergonômica dos postos de trabalho, incluindo ajuste de altura de mesas e cadeiras; – Treinamento dos trabalhadores em técnicas de ergonomia e prevenção de lesões musculoesqueléticas.
Riscos de Acidentes	Máquinas e equipamentos sem proteção; Arranjo físico inadequado; Choques elétricos.	<ul style="list-style-type: none"> – Instalação de dispositivos de segurança em máquinas e equipamentos, como protetores e sistemas de parada de emergência; – Inspeção regular das instalações para identificar e corrigir possíveis falhas de segurança; – Treinamento em procedimentos de emergência, incluindo evacuação e combate a incêndios; – Organização adequada do espaço de trabalho para minimizar o risco de quedas e colisões entre objetos;

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em Dutra (2022).

Ao analisar o Quadro 1, fica evidente a abundância de perigos inerentes ao trabalho de soldagem dentro de uma CSER. Assim, reconhece-se como de vital importância seguir as medidas preventivas para evitar a ocorrência de acidentes ou incidentes.

A seguir, no próximo tópico, será apresentada uma análise mais específica sobre os riscos específicos no processo de soldagem.

2.4 Risco Químico: Fumos Metálicos de Solda

Com base nas análises realizadas, é evidente que o processo de soldagem apresenta diversos riscos à saúde dos operadores. Um dos mais graves está relacionado aos perigos químicos. Durante a execução da soldagem, o eletrodo consumível é vaporizado e derretido, produzindo fumos metálicos, ou seja, partículas sólidas finas de óxidos metálicos. Dependendo da composição, concentração e duração da exposição, esses fumos podem causar danos graves à saúde dos trabalhadores. Os efeitos variam desde irritações nos olhos e vias respiratórias até problemas mais sérios, como o câncer de pulmão, especialmente em casos de exposição prolongada e intensa (Santolaia; Pina, 2018).

A absorção dessas substâncias pelo corpo ocorre principalmente por meio da respiração, ingestão e contato com a pele, sendo a inalação a via mais preocupante. Entre os elementos de maior risco estão o Cromo Hexavalente (Cr (VI)), Manganês, Níquel e Chumbo (Nederman, 2010). Por exemplo, os fumos gerados durante a soldagem do aço inoxidável podem também causar danos pulmonares agudos. Além disso, a exposição a outros compostos químicos também pode resultar em distúrbios no sistema cardíaco (Guedes *et al.*, 2017).

Santolaia e Pina (2018) referem-se à NR-15 e seus anexos 11 a 13, nos quais o Ministério do Trabalho e Emprego estabelece os limites de tolerância para atividades consideradas insalubres devido à exposição a agentes químicos. O limite de tolerância é definido como a concentração máxima ou mínima de um agente, em relação à sua natureza e tempo de exposição, que não causará danos à saúde do trabalhador ao longo de sua vida profissional.

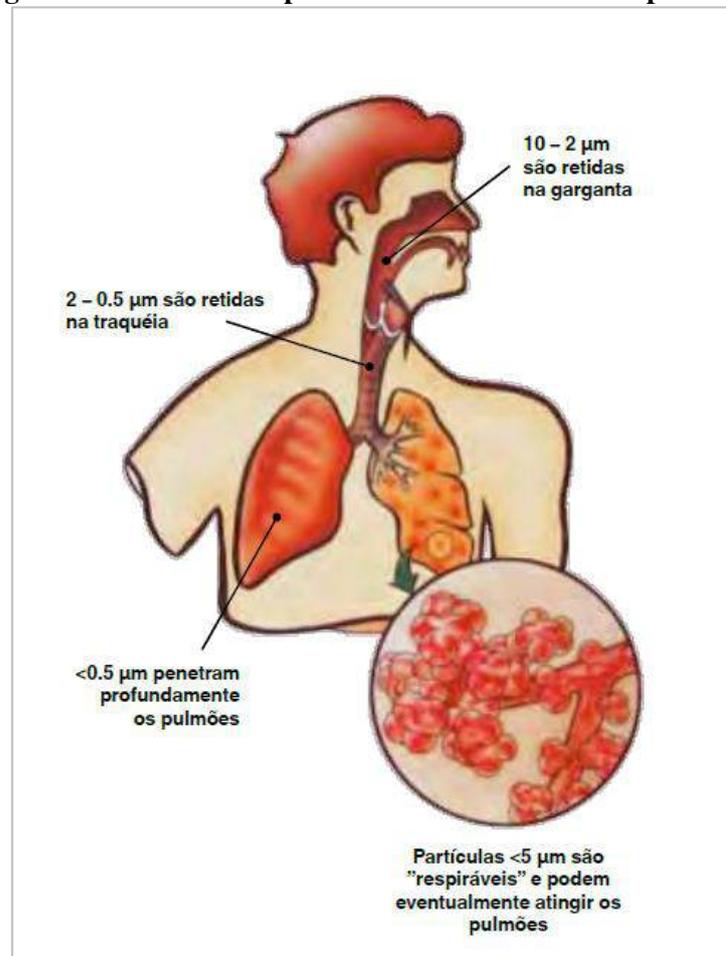
Além disso, a norma lista substâncias consideradas cancerígenas, para as quais nenhuma exposição é permitida, independentemente do meio de contato. Essas substâncias incluem a 4-Amino difenil (p-xenilamina), a produção de benzidina, a betanaftilamina e o 4-Nitrodifenil. Para processos e operações que envolvam essas substâncias, é necessário implementar melhorias a fim de garantir um ambiente de trabalho seguro. A falta de ações nesse sentido caracteriza uma condição de risco grave e iminente para os trabalhadores (Santolaia; Pina, 2018).

Além dos soldadores, outros elementos de risco estão presentes em ambientes insalubres como estes. Os equipamentos de produção e os produtos sofrem impactos negativos devido à

falta de medidas de segurança. Os resíduos de fumos metálicos frequentemente causam defeitos em dispositivos eletroeletrônicos e em componentes de mecânica fina. Até mesmo os equipamentos de solda automatizada, como os robôs, e seus operadores estão sujeitos à exposição aos fumos residuais dos processos e requerem proteção adequada (Nederman, 2010).

A Figura 2 ilustra o sistema respiratório e a dimensão de partículas sólidas proveniente da soldagem com eletrodo revestido no sistema respiratório, destacando os possíveis danos no sistema pulmonar. Essas partículas estão aglomeradas quando atingem a zona de respiração do soldador, gerando partículas de fumos de 1 a 2 μm . O tamanho das partículas é importante porque determina o quanto o sistema respiratório é afetado. (Nederman, 2010).

Figura 2 – O sistema respiratório e as dimensões das partículas



Fonte: Nederman (2010).

É importante citar que o principal perigo dos fumos de solda reside no tamanho extremamente pequeno de suas partículas, que variam de 0,01 a 1 μm . Devido a essa dimensão reduzida, essas partículas conseguem penetrar profundamente nos pulmões e se depositar nos alvéolos, podendo comprometer a troca gasosa e distribuição do oxigênio para o organismo, representando um risco significativo para a saúde respiratória (Guedes *et al.*, 2017).

2.4.1 Prevenção quanto à contaminação com gases fumo metálicos

Para minimizar os riscos de exposição aos fumos e gases de soldagem ao máximo possível, é fundamental primeiro informar os trabalhadores sobre os perigos associados às substâncias tóxicas liberadas durante o processo de soldagem. A partir dessa conscientização, podem ser implementadas estratégias eficazes para controlar esses riscos (Almeida; Ruppenthal, 2002).

O Equipamento de Proteção Individual (EPI) é essencial para reduzir os riscos enfrentados por profissionais durante a soldagem. Na categoria de fumos metálicos, a máscara de solda e a máscara de proteção são recomendadas.

A NR-6 do Ministério do Trabalho estabelece diretrizes para o uso de EPIs, tanto para empregadores quanto para funcionários (TREAL, 2022).

Para o empregador:

- Adquirir o EPI mais apropriado para o risco da atividade;
- Garantir o uso correto dos EPIs pelos funcionários;
- Fornecer equipamentos com Certificado de Aprovação;
- Oferecer treinamento sobre o uso adequado dos EPIs;
- Armazenar corretamente os equipamentos;
- Substituir imediatamente os EPIs danificados ou perdidos;
- Realizar a higienização e manutenção periódica dos equipamentos.

Para o funcionário:

- Utilizar os EPIs somente para a finalidade prevista;
- Responsabilizar-se pelo armazenamento e conservação dos equipamentos;
- Informar ao empregador sobre qualquer alteração que torne o EPI inadequado para uso;
- Seguir as orientações sobre o uso adequado do EPI.

No contexto acadêmico de laboratórios de soldagem, a norma se aplica diretamente aos alunos e usuários do laboratório, tornando-se necessário seguir essas recomendações (TREAL, 2022).

Os Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC) são fundamentais para garantir a segurança durante a soldagem elétrica. Isso inclui ventiladores, exaustores e kits de primeiros socorros. Em muitas situações, garantir uma ventilação adequada é essencial para reduzir os riscos associados aos fumos e gases liberados durante o processo de soldagem. Estratégias como

a ventilação geral (natural ou forçada) e a ventilação localizada, que captura os fumos e gases no ponto de origem, são altamente eficazes (Almeida; Ruppenthal, 2002).

Quando esses métodos não são viáveis ou insuficientes, é necessário recorrer à proteção respiratória, especialmente em operações realizadas em espaços confinados. Além disso, é preciso realizar a exaustão das substâncias tóxicas e proteger o ambiente externo filtrando os fumos e gases de soldagem, garantindo assim a segurança de todos os envolvidos (Almeida; Ruppenthal, 2002).

2.5 Sistema de Ventilação

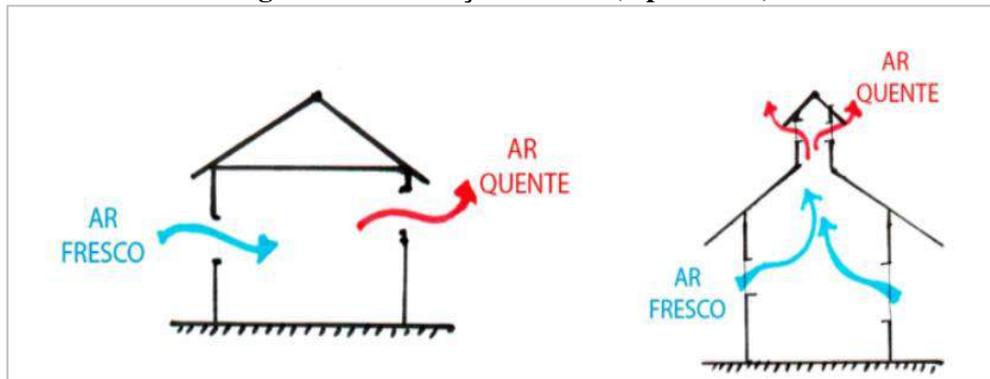
A ventilação desempenha um papel essencial no controle da qualidade do ar em ambientes de trabalho. Ao ser adequadamente aplicada, permite a diluição ou remoção de substâncias prejudiciais ou irritantes presentes no ambiente, garantindo a conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação (Lisboa, 2007).

De maneira geral, conforme discutido por Costa (2005), os sistemas que promovem a renovação do ar em ambientes podem ser categorizados em dois tipos principais:

- Ventilação natural (espontânea): Este tipo de ventilação ocorre de forma natural, impulsionada pelas variações de pressão decorrentes de elementos como os ventos e os gradientes de temperatura presentes nas superfícies que circundam o ambiente.
- Ventilação artificial (forçada): Neste caso, a circulação do ar é promovida por meio de dispositivos mecânicos. Essa ventilação pode assumir duas formas principais: a geral, que dilui o ar, e a local, que extrai o ar do ambiente (Costa, 2005).

A Figura 3 apresenta o conceito de ventilação natural que ocorre através de aberturas específicas, como janelas e portas, permitindo a entrada e a saída de ar de forma deliberada e planejada. Essa abordagem é frequentemente considerada durante o planejamento de projetos de construção civil. É importante ressaltar que o fluxo de ar através dessas aberturas depende das diferenças de pressão entre o interior e o exterior do ambiente, bem como das resistências encontradas pelo ar ao passar por essas aberturas.

Figura 3 – Ventilação natural (espontânea)

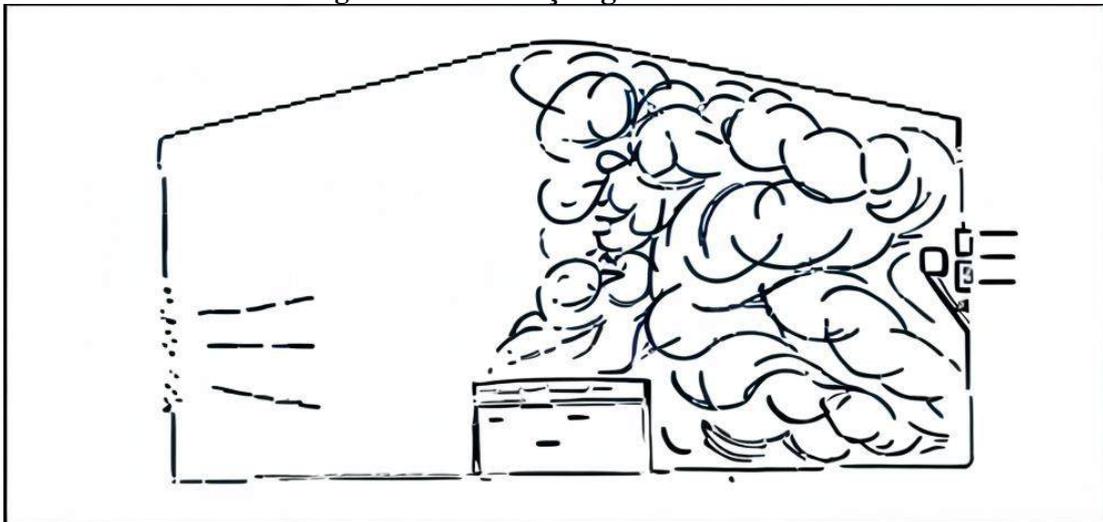


Fonte: Nascimento ([2020])

A ventilação artificial implica na circulação do ar através de meios mecânicos, os quais são responsáveis por gerar um deslocamento de massa superior à influência da gravidade e à resistência dos materiais pelos quais o ar é conduzido (Macintyre, 1990). Este método, por sua vez, é categorizado em:

- a) A ventilação geral diluidora (Figura 4), age diminuindo a concentração dos contaminantes através da circulação do ar.

Figura 4 – Ventilação geral diluidora

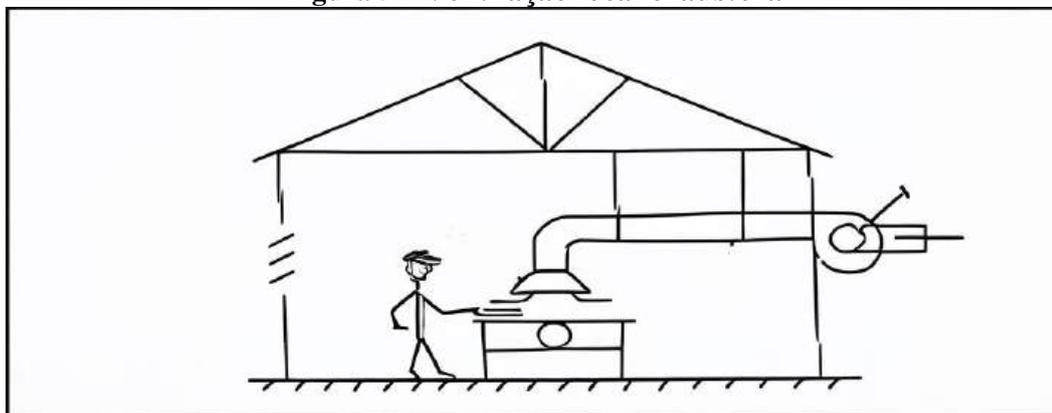


Fonte: Adaptado de Lisboa (2007, p. 5)

Essa técnica consiste em introduzir ou extrair ar do ambiente, misturando os poluentes com o ar limpo e diluindo-os antes de serem removidos. Entretanto, é importante destacar que esse método não impede a emissão dos poluentes no ambiente de trabalho. Sua aplicação é viável apenas em condições em que a concentração do poluente não ultrapasse a capacidade de diluição adequada (Costa, 2005).

- b) A ventilação local exaustora (Figura 5), trabalha para remover os contaminantes no local de sua origem, impedindo que se espalhem pelo ambiente.

Figura 5 – Ventilação local exaustora



Fonte: Adaptado de Lisboa (2007, p. 5)

O processo de ventilação opera capturando os poluentes por meio de uma corrente de ar de velocidade apropriada, conhecida como velocidade de captura. Essa velocidade é gerada por dispositivos especiais denominados captores. Além disso, para realizar a extração do contaminante, a ventilação local exaustora é responsável por transportar detritos como poeira, fumos metálicos e vapores através do ar (Costa, 2005).

2.5.1 Ventilação Local Exaustora

Os sistemas de ventilação geral do ambiente ou coifas posicionadas acima da área de trabalho são soluções que se mostram completamente inadequadas, uma vez que a zona de respiração do soldador permanece suscetível à contaminação. Além disso, tais sistemas não são economicamente viáveis, já que exigem a movimentação de grandes volumes de ar, resultando em um consumo elevado de energia (Nederman, 2010).

Por outro lado, a exaustão localizada emerge como o método mais eficaz. Em locais onde sua aplicação é possível, fica comprovado que sua eficácia na captação de fumos de solda ou outros particulados em suspensão é significativamente superior. Ao adotar esse método, o risco de os soldadores serem expostos a altas concentrações dos perigosos fumos de solda é consideravelmente reduzido (Nederman, 2010).

Neste contexto, visando à máxima eficiência com custos mínimos, tendo como principal finalidade preservar a saúde humana, o projeto do sistema de exaustão é composto essencialmente pelos seguintes elementos-chave:

- 1) capttores
- 2) sistemas de dutos;
- 3) ventilador;
- 4) dispositivo de controle de poluição do ar.

A correta concepção, montagem e operação de cada um desses elementos são essenciais para otimizar a eficiência e a eficácia do sistema como um todo, impactando diretamente em seu desempenho final.

2.5.2 Captor

Um captor de sistema de ventilação local exaustora é um componente instalado próximo à fonte emissora de poluentes. Sua função é extrair o ar contaminado, criando um fluxo direcionado para seu interior através da disparidade de pressões entre o ambiente e o interior do captor, conforme descrito por Macintyre (1990).

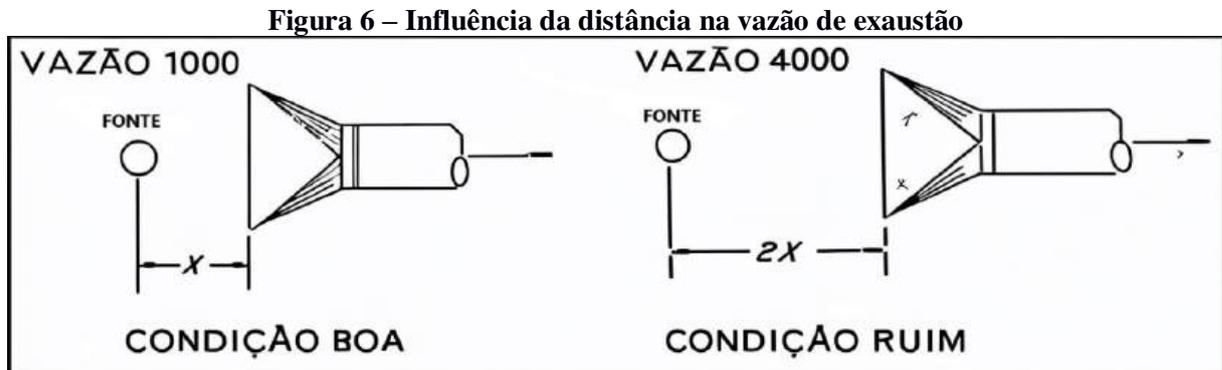
De acordo com as diretrizes da *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH, 1998), dentro dos tipos de dispositivos de captação, podemos identificar três categorias: os capttores enclausurantes, as cabines e os capttores exteriores. Os capttores enclausurantes são aqueles que envolvem completamente ou parcialmente a fonte geradora de poluentes. Ao direcionar a exaustão para dentro do captor, eles retêm os contaminantes dentro do enclausuramento, prevenindo sua dispersão no ambiente de trabalho. Sempre que possível, é recomendável utilizar capttores enclausurantes, desde que a natureza e o funcionamento do processo assim o permitam.

Os capttores do tipo cabine são semelhantes aos enclausurantes, mas possuem uma face aberta para permitir acesso ao processo ou operação. Já os capttores exteriores são posicionados ao lado da fonte emissora, sem envolvê-la. Quando o contaminante consiste em gases, vapores ou partículas finas com baixa velocidade de emissão, a orientação do captor não é tão crítica. No entanto, se o contaminante contiver partículas maiores emitidas com velocidade significativa, será necessário posicionar a coifa no caminho da emissão.

É recomendado posicionar o captor o mais próximo possível da fonte de poluição, pois isso facilita uma captação mais eficiente com menor necessidade de vazão de ar, resultando em custos operacionais reduzidos.

A Figura 6 exemplifica a influência da distância na vazão de exaustão, de forma que a diferença de vazão entre capttores posicionados a distâncias x e $2x$ da fonte. Geralmente, a

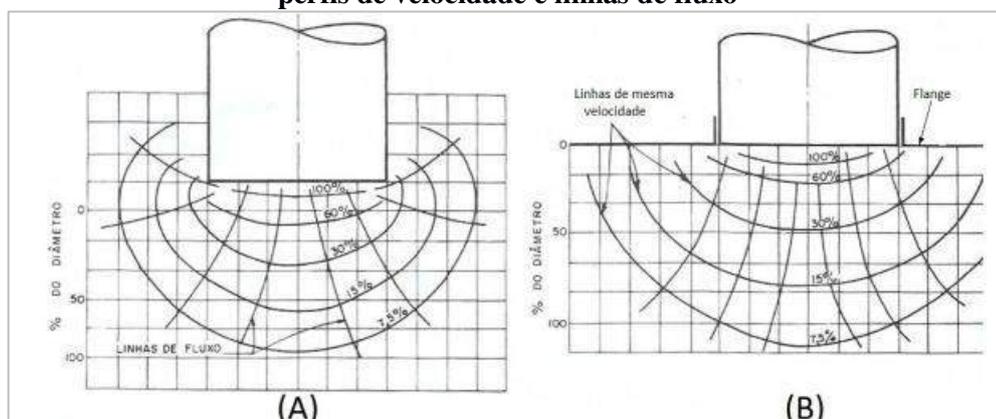
vazão necessária varia quadrilateralmente com a distância; portanto, quando a distância é dobrada para $2x$, a vazão necessária é quatro vezes maior em relação a x . (Lisboa, 2007).



Além disso, é importante notar que quanto maior a distância entre o captor e a fonte, maior a chance de interferência de correntes de ar transversais, como o vento, que podem prejudicar a eficácia da captação dos poluentes, exigindo uma velocidade de captura (V_c) mais alta e, conseqüentemente, uma vazão maior para garantir uma captação eficiente Lisboa (2007)

De acordo com Macintyre (1990), a velocidade de captura diminui em relação à boca do captor quando este é instalado a certa distância da fonte geradora dos poluentes. Em situações em que os captores têm bocas circulares sem flanges (Figura 7 – A), observa-se uma captura de ar que fica para trás da boca. Esse fenômeno pode ser evitado se a boca do captor tiver flanges ou abas laterais (Figura 7 – B).

Figura 7 – Captores de abertura circular com flange (B) e sem flange (A) – perfis de velocidade e linhas de fluxo



Iniciar um projeto para um sistema de exaustão requer, antes de tudo, a determinação precisa da velocidade de captura adequada. Esse dado essencial, aliado ao tipo de captor

escolhido, é o ponto de partida para o dimensionamento completo da instalação (Macintyre,1990).

Nos Quadros 2 e 3, é possível observar as velocidades de captura, conforme as condições de geração e de operação, respectivamente (Costa, 2005).

Quadro 2 – Velocidade de captura em função das condições de geração

Condição de geração	Exemplo	Vc (m/s)
Sem velocidade inicial no ar parado	Evaporação de tanque, soldas, desengraxamento, eletrodeposição	0,25 a 0,5
Geração no interior de cabines	Velocidade de abertura da cabine	0,25 a 1,0
Geração com velocidade inicial baixa	Cabines de pintura, misturadores, enchimento de barris, escolha, transferência de transporte (<1m/s), pesagens e embalagens	0,5 a 1,0
Geração ativa	Britadores, peneiras, limpeza de peças por trepidação, transferência de transporte (>1 m/s)	1,0 a 2,5
Geração com grande força	Esmerilhamento, jatos abrasivos	2,5 a 10,0

Fonte: Adaptado de Costa (2005, p. 147)

Quadro 3 – Velocidade de captura em função da operação

Operação	Vc (m/s)	Observação
Jatos abrasivos	2,5 0,3 a 0,5	Em cabines Em salas
Enchimento de barris	0,4 a 0,5	No ponto de operação
Corte manual de granito	1,0	No ponto de operação
Esmerilhamento	1,0 a 2,0	Grelha de fluxo descendente
Pintura a pistola	0,5 a 1,0	Face da cabine
Solda de prata	0,5	Face de coifa
Solda elétrica	0,5 a 1,0	No ponto de operação

Fonte: Adaptado de Costa (2005, p. 147)

Adicionalmente, a Tabela 1 fornece a distância ideal entre o captor e o ponto de operação, de acordo com a vazão necessária para uma bancada de soldagem.

Tabela 1 – Distância do captor até o ponto de operação

Distância: x (m)	Duto simples: Q (m ³ /s)	Duto com entrada flangeada ou cônica: Q (m ³ /s)
0,152399	0,15810	0,11798
0,152399 a 0,2286	0,35631	0,26429
0,2286 a 0,3048	0,63004	0,4719

Fonte: Adaptado de Macintyre (1990, p.236)

2.5.3 Sistemas de dutos

Equipamento responsável por conduzir o ar contaminado até a entrada do ventilador e, em seguida, para fora ou para os sistemas de controle de poluição (Macintyre, 1990). De acordo com Costa (2005), a velocidade do ar nas tubulações de exaustão local deve ser suficiente para manter as partículas de contaminante em suspensão e, ao mesmo tempo, transportá-las eficientemente.

Lisboa (2007), por sua vez, explica que, no caso dos poluentes gasosos, a velocidade de fluxo não é tão crítica quanto em outras situações. Isso ocorre porque é pouco provável que esses poluentes se depositem nas tubulações, mesmo quando o fluxo é lento. Os valores recomendados de velocidade para cada material podem ser encontrados, Quadro 4 - Velocidade em dutos de acordo com cada material.

Quadro 4 – Velocidade em dutos de acordo com cada material

Material	Velocidade do ar C (m/s)
Vapores, gases, fumos, poeiras muito finas (< 0,05 µm)	10
Poeiras secas finas	15
Poeiras industriais médias	17,5
Partículas grossas	17,5 a 22,5
Partículas grandes, materiais úmidos	> 22,5

Fonte: Adaptado de Costa (2005, p. 154)

Costa (2005) enfatiza a importância de garantir que os dutos do sistema de ventilação local exaustora sejam preferencialmente de seção circular, evitando assim possíveis áreas de estagnação dos contaminantes em arestas ou regiões de baixa velocidade. Normalmente, esses dutos são construídos com chapa de aço soldada ou chapa de aço galvanizada rebitada, adequadas para operar em temperaturas abaixo de 200 °C.

É recomendado que os dutos sejam adequadamente suportados a cada intervalo correspondente a 20-30 vezes o seu diâmetro e posicionados a uma distância mínima de 20 cm das paredes e do teto para facilitar a manutenção.

Ao analisar o escoamento de um fluido através de uma tubulação, Clezar e Nogueira (1999) indicam a ocorrência de distorções devido ao contato entre o fluido e a superfície do tubo, resultando em perdas de pressão ao longo da instalação, conhecidas como perdas de carga na mecânica dos fluidos. Estas são influenciadas pela rugosidade da parede da tubulação e pela viscosidade do fluido, sendo que quanto maior esses fatores, maior será a perda de energia.

Macintyre (1990) destaca que diversos elementos ao longo dos dutos contribuem para o aumento das perdas de carga devido ao atrito e a turbulências geradas, tais como curvas,

cotovelos, joelhos e expansões graduais. Portanto, deve-se ter um especial cuidado ao se projetarem esses elementos de forma a minimizar as perdas de carga no sistema.

A velocidade do fluido nos dutos influencia diretamente as perdas de carga do sistema, afetando a energia necessária para o transporte do fluido através dos dutos. Lisboa (2007) salienta que quanto maior a velocidade, maior será a perda de carga e, conseqüentemente, maior será a potência exigida pelo ventilador. Por isso, é recomendável que a velocidade do fluido nos dutos se aproxime da velocidade de transporte recomendada.

2.5.4 Ventilador

Os ventiladores são turbo máquinas geradoras ou operadoras, também conhecidas como turbo dinâmicas, projetadas para promover o deslocamento de gases (Macintyre, 1990). O propósito fundamental desses dispositivos é movimentar uma quantidade específica de ar através de um sistema conectado a eles, sendo necessário que o ventilador gere uma pressão estática adequada para superar as perdas do sistema e uma pressão cinemática para manter o ar em circulação (Mesquita; Guimarães; Nefussi, 1988),

Um estudo fundamental sobre sistemas de ventilação, conduzido por Mesquita, Guimarães e Nefussi (1988), oferece uma classificação abrangente dos ventiladores. Eles se diferenciam principalmente entre dois tipos: centrífugo e axial. Os autores não só identificam esses tipos, mas também destacam suas vantagens e desvantagens individuais, fornecendo uma visão clara das características e usos de cada um.

- *Ventilador centrífugo de pás radiais*: Reconhecido por sua robustez, este tipo de ventilador é ideal para movimentar efluentes contendo grandes quantidades de poeira e substâncias corrosivas. No entanto, sua eficiência é relativamente baixa, e seu funcionamento tende a ser ruidoso.

- *Ventilador centrífugo de pás para frente*: Embora seja capaz de realizar exaustão eficaz em baixas velocidades, este modelo não é adequado para operações de alta pressão ou ambientes com altas concentrações de poeira. Além disso, é propenso a problemas de corrosão quando mal utilizado. Sua eficiência estática máxima é de 60%, o que representa um nível razoável de eficácia.

- *Ventilador centrífugo de pás para trás*: Caracterizado por sua eficiência superior e capacidade de autocontrole de potência, este tipo de ventilador é uma escolha vantajosa para aplicações em que o motor não deve ser sobrecarregado por mudanças no sistema de dutos. Além disso, quando operando em níveis eficientes, é notavelmente silencioso.

- *Ventilador axial propulsor*: Reconhecido por sua economia, este tipo de ventilador é frequentemente utilizado para mover grandes volumes de ar em baixas pressões. Geralmente encontrado em sistemas de circulação de ar, é menos comum em configurações de ventilação local exaustora.

- *Tubo-Axial*: Este tipo de propulsor apresenta pás mais robustas e largas, permitindo sua instalação direta em dutos. Essa característica o torna uma escolha prática para certas aplicações.

- *Ventilador axial com aerofólios*: Equipado com uma calota central, este modelo é especialmente adequado para operar em pressões elevadas. É comumente utilizado em ambientes como minas subterrâneas, embora seja necessário cuidado na seleção das pás para evitar erosão e corrosão.

Em outro estudo relevante, Macintyre (1990) classifica os ventiladores de acordo com os níveis de pressão energética, conforme apresentado no Quadro 5:

Quadro 5 – Classificação dos ventiladores

Categoria	Intervalo de Pressão
Baixa pressão	Até 200 Kgf/m ²
Média pressão	200 a 800 Kgf/m ²
Alta pressão	800 a 2.500 Kgf/m ²
Muito alta pressão	2.500 a 10.000 Kgf/m ²

Fonte: Macintyre (1990, p. 157-158)

Especialmente em ambientes onde a abertura equivalente dos sistemas de ventilação local exaustora varia consideravelmente, resultando em flutuações na perda de carga, há o risco de sobrecarga nos motores dos ventiladores. Nesses casos, como medida preventiva, recomenda-se o uso de ventiladores centrífugos com pás voltadas para trás (conhecidos como “*limit load*”) ou, em alguns casos, os de pás radiais. Esses tipos de ventiladores possuem uma vantagem particular para essa aplicação, pois, além de gerar diferenças significativas de pressão, não sofrem um aumento substancial na potência consumida devido às perdas de carga do sistema (Costa, 2005).

2.5.5 Dispositivo de controle de poluição do ar

Uma vez que os poluentes são capturados e transportados pelos dutos por meio da ação dos ventiladores, é essencial coletá-los, eliminá-los do ar, recolhê-los e tratá-los adequadamente para garantir a liberação de ar purificado na atmosfera. Existem diversos equipamentos projetados para essa finalidade, e a escolha depende de uma variedade de fatores, incluindo as

propriedades do contaminante, considerações econômicas e práticas. Entre esses equipamentos estão as câmaras gravitacionais, filtros de mangas, precipitadores térmicos, ventiladores centrífugos e ciclones (Mesquita; Guimarães; Nefussi, 1988).

Os filtros HEPA (*High Efficiency Particulate Air Filters*) são formados por uma matriz densa de fibras finas, ou seja, mistura de fibras de vidro entrelaçadas, cujas partículas são capturadas por mecanismos como difusão, interceptação e impacto. São bastantes utilizados em sistemas de ventilação e purificação do ar, devido à sua capacidade de remover partículas microscópicas com alta eficiência. Esses filtros capturam poeira, pólen, esporos de mofo, pelos de animais, ácaros e até algumas bactérias e vírus, alcançando uma eficiência próxima de 95%, com uma perda de carga final recomendada de 450 Pascal (Senatore, 2011; Geleskis, 2015).

Dada a natureza das partículas de fumos geradas em processos industriais, que possuem um tamanho entre 1 e 2 μm , o uso de filtros HEPA é essencial para a remoção eficaz desses contaminantes. Sua capacidade de capturar partículas microscópicas torna-os a melhor opção para proteger ambientes com alta concentração de fumos metálicos (Geleskis, 2015).

Com a publicação da norma NBR 16.401, que substituiu a antiga NBR 6401, o Brasil deixou de ter uma norma específica para a classificação de filtros absolutos, como os filtros HEPA. Desde então, tornou-se comum a adoção da norma europeia EN 1822, que está em consonância com as diretrizes da Organização Mundial da Saúde. A EN 1822, revisada em 2009, estabelece os critérios para ensaio e classificação dos filtros EPA, HEPA e ULPA, de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Anvisa (Brasil, 2013).

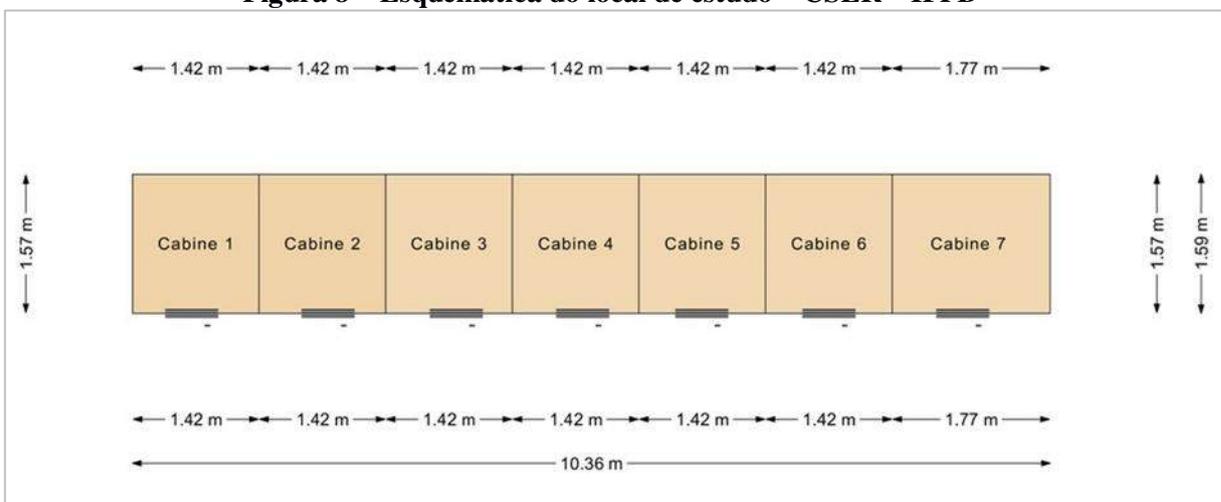
3 METODOLOGIA

3.1 Abordagem/Tipo de Estudo

O presente trabalho insere-se em uma pesquisa de natureza aplicada, cujo foco reside na possibilidade de aplicação prática dos resultados obtidos, visando aprimorar a segurança no ambiente de aprendizado. Para a realização deste estudo, a atenção foi dada às Cabines de Soldagem por Arco Elétrico – (CSER), um ambiente vital dentro do Laboratório de Soldagem (LS), situado no Bloco de Mecânica do Instituto Federal da Paraíba, no Campus João Pessoa - PB.

As cabines de soldagem desempenham um papel fundamental na geração de conhecimento técnico, especialmente no que diz respeito à soldagem por eletrodo revestido. No ambiente do laboratório, encontram-se sete CSER, cada uma equipada com dispositivos necessários para a realização dos processos de soldagem arco-elétrico. A Figura 8, a seguir, ilustra a planta baixa dessas cabines, delineando uma área de 16 m² e detalhando todas as suas dimensões específicas.

Figura 8 – Esquemática do local de estudo – CSER – IFPB



Fonte: Elaborado pelo autor

Nas Figuras 9(A) e 9(B), estão apresentadas as fotografias das CSER vistas em frontal, de forma a se perceber a localização no ambiente do laboratório de soldagem.

Figura 9 – Vista Frontal das CSER – Laboratório de Soldagem – IFPB/João Pessoa

A)



B)



Fonte: Acervo do Autor. [fotografada em: 9 jul. 2024]

Foi realizada uma análise detalhada do espaço de trabalho para identificar os potenciais riscos associados às CSER. A observação direta foi o principal método de coleta de dados, permitindo avaliar as condições do ambiente de trabalho no laboratório e dentro das cabines de soldagem. Professores que ministram aulas no laboratório foram consultados para fornecer mais informações sobre os procedimentos de segurança adotados e suas percepções sobre os riscos presentes. Também foram realizados diálogos com os alunos, a fim de compreender suas experiências e preocupações relacionadas às CSER, o que contribuiu para a identificação desses riscos. Adicionalmente, foi feita uma revisão da literatura, com a leitura de artigos científicos, livros pertinentes ao tema e a análise das legislações vigentes que tratam da segurança no trabalho.

Deu-se também uma ênfase especial ao sistema de exaustão, projetado e desenvolvido especificamente para lidar com a presença de fumos metálicos. Esse sistema é essencial para

garantir a segurança e o bem-estar dos usuários do laboratório, por isso, os cálculos referentes a ele foram minuciosamente realizados para dimensionar corretamente o sistema de exaustão.

Para a metodologia dos cálculos, foram utilizados os métodos sugeridos por Costa (2005) e por Macintyre (1990), que envolve a aplicação de expressões matemáticas.

O primeiro passo consiste em determinar a vazão necessária no bocal, levando em consideração o tipo de bocal que está sendo dimensionado. A Equação (1) é utilizada para estimar a vazão no bocal escolhido (Q).

$$Q = k * Vc * \Omega \quad (1)$$

Onde:

Q = Vazão (m^3/s)

k = Coeficiente de forma da boca do captor (adimensional)

Ω = Área da seção transversal do captor (m^2)

Vc = Velocidade de captura (m/s)

O coeficiente de forma da boca do captor segue o tipo de bocal definido por Macintyre (1990, p. 209): o bocal escolhido possui uma boca de tubo cilíndrica com flanges. Portanto, utiliza-se a Equação (2):

$$Q = 0,75. (10x^2 + \Omega). Vc \quad (2)$$

Onde:

X = distância entre o ponto de captação e o captor (m).

Com base nos resultados da vazão, foi realizado o dimensionamento dos dutos. Primeiramente, a seção transversal do duto foi determinada utilizando a Equação (3). Em seguida, a pré-seleção dos diâmetros dos dutos foi efetuada aplicando-se a Equação da Continuidade (3), culminando na determinação do diâmetro do duto conforme a Equação (4).

$$Q = A. c \quad (3)$$

Onde:

A = área da seção transversal do duto (m^2),

c = Velocidade do ar poluído com gases e vapores (m/s)

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (4)$$

Onde:

D = Diâmetro (m)

$\pi = 3,14$

Nesse contexto, para determinar a perda de carga total do sistema, considera-se o somatório da perda de carga localizada, ou seja, nos acessórios e da perda distribuída. As Equações (5) e (6) são as fórmulas empíricas para o cálculo das perdas de carga, executadas em chapas galvanizadas, conforme recomendadas pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) (Costa, 2005, p. 102; 156).

$$J = \Sigma \lambda * \frac{Vr^2}{2 * g} * \gamma \quad (5)$$

$$J_{dutos} = 0,001026 * l * \frac{Vr^{2,51}}{Q^{0,61}} \quad (6)$$

Onde:

J = Perda de carga (kgf/m²)

Vr = Velocidade real (m/s)

$\Sigma \lambda$ = Somatório do coeficiente de atrito (adimensional)

g = Gravidade (9,81m/s²)

γ = Peso específico do ar (1,2 kgf/m³)

J_{dutos} = Perda de carga da dutos (kgf/m²)

l = Comprimento da canalização (m)

Após a realização de todos os cálculos e a definição dos parâmetros detalhados, como a vazão e perda de carga total, será possível determinar o ventilador que melhor se aplica no contexto das CSER, através do EASYVENT, software disponível online pela empresa OTAM S&P.

3.2 Material e Instrumentos de Pesquisa

Para elaborar a proposta de dimensionamento do sistema de exaustão, foram utilizados: uma trena para medições precisas, o software de desenho CAD *Autodesk Inventor* e o software *Floorplanner* para desenhar a esquemática do local de estudo. Também foram tiradas fotografias do ambiente de estudo a partir de um aparelho smartphone.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico, apresentamos os resultados das análises das CSER, baseadas na pesquisa de campo realizada, na qual se observou o contexto do objeto de estudo e suas configurações atuais. Primeiramente, serão descritas a situação atual das CSER e sua conformidade com as normas vigentes, com o objetivo de fornecer um panorama das necessidades presentes nesses espaços.

Ressalta-se que não se pretende, neste ponto, detalhar ou especificar todos os elementos normativos relacionados a cada aspecto identificado na análise, já que o foco principal desta pesquisa é compreender o contexto geral que subsidiará o desenvolvimento do desenho esquemático do sistema de exaustão, como uma medida preventiva contra os riscos químicos associados ao manuseio de soldas por eletrodo revestido.

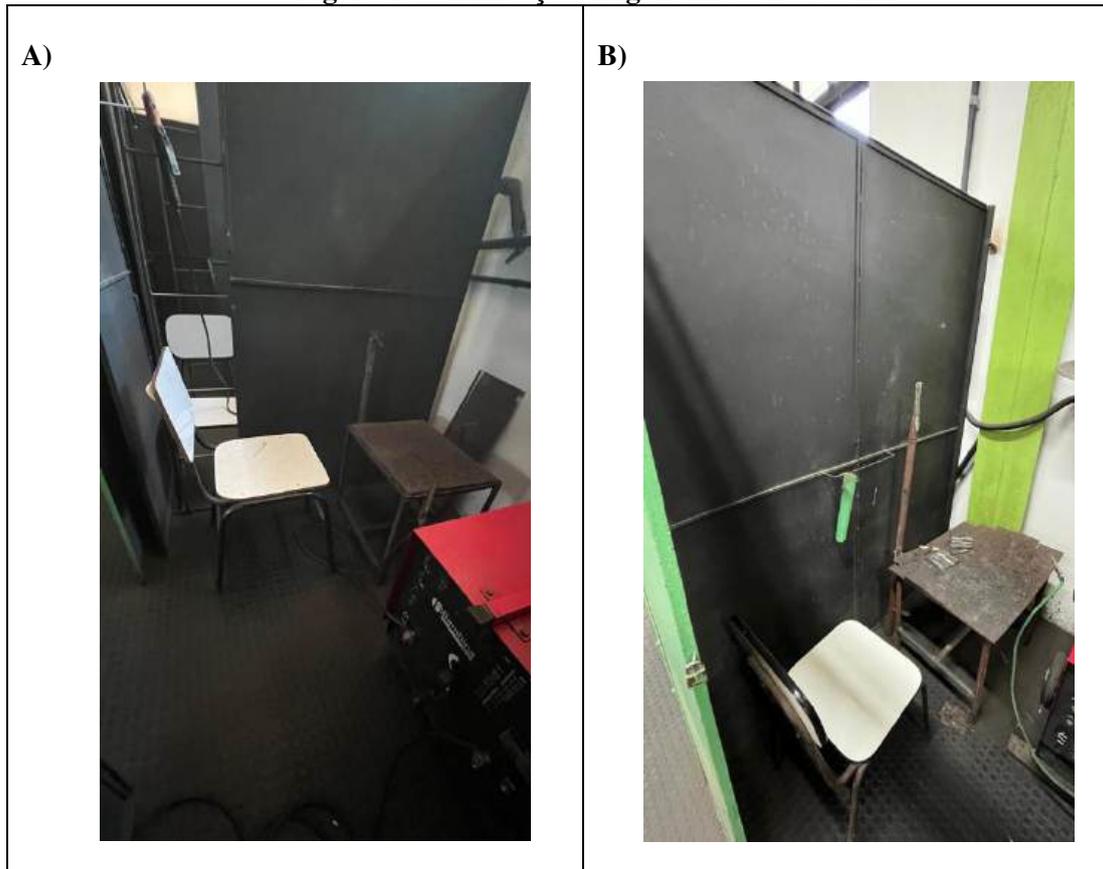
4.1 Análise das Cabines de Soldagem com Eletrodo Revestido no IFPB

4.1.1 Análise de Segurança das CSER com Foco na Ergonomia

No contexto educacional, as Cabines de Soldagem (CSER) desempenham um papel fundamental na formação dos discentes do instituto. Projetadas para proporcionar um ambiente controlado e seguro, essas cabines permitem o aprendizado e a prática de técnicas de soldagem com o uso de equipamentos específicos, como mesas, máquinas de soldagem (inversores), garras e porta-eletrodos.

Para assegurar a segurança e a eficiência no processo de soldagem, é indispensável que os usuários estejam devidamente equipados com Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), como luvas, máscaras, mangotes, perneiras e aventais.

No entanto, uma análise detalhada das condições ergonômicas das CSER revelou questões importantes, particularmente em relação ao mobiliário utilizado. A Figura 10 (A e B) a seguir destaca essas limitações ergonômicas, evidenciando problemas que podem afetar a saúde e a segurança dos usuários.

Figura 10 – Limitações Ergonômicas nas CSER

Fonte: Acervo do Autor. [fotografada em: 9 jul. 2024]

As imagens registradas (Figura 10 (A) e (B)) mostram que os assentos disponíveis não oferecem o conforto necessário, e as bancadas de trabalho não foram projetadas de acordo com as exigências técnicas legais de ergonomia. Isso frequentemente obriga os usuários a adotar posições inadequadas, como se curvar para realizar a soldagem, o que pode causar problemas de saúde a longo prazo. Além disso, as bancadas carecem de suportes adequados para fixação das peças.

Outro ponto relevante é a ausência de ajuste de altura nas cadeiras das cabines. A ergonomia do usuário depende de uma postura correta em relação à bancada e à máquina de soldagem, e a falta de regulagem de altura pode resultar em desconforto, fadiga e até mesmo problemas de saúde ao longo do tempo.

De acordo com a NR 17, as condições ergonômicas das Cabines de Soldagem (CSER) devem ser devidamente ajustadas. A norma estabelece que o mobiliário dos postos de trabalho deve ser regulável, adaptando-se às características antropométricas dos trabalhadores e à natureza da atividade realizada (NR 17.6.1). Isso significa que as cadeiras nas CSER devem ter altura ajustável para se adequar à estatura dos usuários e às exigências da tarefa de soldagem (NR 17.6.6(a)). Além disso, os assentos devem possuir encostos ajustáveis ao corpo para

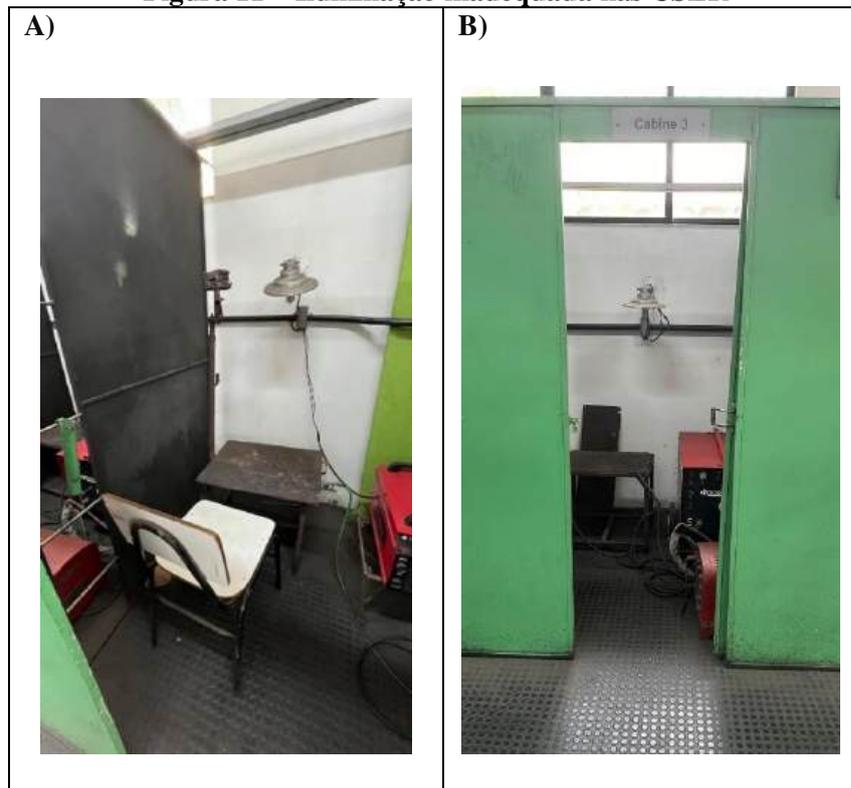
proporcionar suporte à região lombar, garantindo maior conforto e prevenindo problemas posturais.

Para atividades manuais, como a soldagem, a NR 17.6.3 exige que os planos de trabalho permitam boas condições de postura, visualização e operação. As bancadas devem ter dimensões que permitam o posicionamento e a movimentação adequados dos segmentos corporais, evitando posturas nocivas e amplitudes articulares excessivas. A altura e a superfície das bancadas devem ser compatíveis com o tipo de atividade, a distância dos olhos ao campo de trabalho e a altura do assento (NR 17.6.3(b)). Também deve haver espaço suficiente para as pernas e pés, permitindo que o usuário se aproxime o máximo possível do ponto de operação e mantenha uma postura adequada (NR 17.6.3(d) e NR 17.6.4).

Além disso, a área de trabalho deve estar dentro da zona de alcance manual e ser facilmente visível (NR 17.6.3(c)). Isso é fundamental para garantir que os usuários possam acessar e visualizar facilmente as ferramentas e materiais necessários durante a soldagem, melhorando tanto a eficiência quanto a segurança do trabalho.

4.1.2 Análise de Segurança das CSER com Foco na Iluminação

Outro aspecto avaliado como um potencial risco ergonômico foi a iluminação nas CSER. Em todas as sete cabines, há apenas um ponto de luz sobre as bancadas de soldagem, conforme ilustrado na Figura 11 (A e B), a ausência de uma iluminação adequada, específica e bem-posicionada dentro das cabines pode resultar em problemas como fadiga visual, comprometimento da saúde ocular e até mesmo acidentes. Além disso, a execução de trabalhos em locais com baixo nível de iluminação torna-se insegura, reduzindo a confiabilidade do serviço e a produtividade.

Figura 11 – Iluminação inadequada nas CSER

Fonte: Acervo do autor. [fotografada em: 9 jul. 2024]

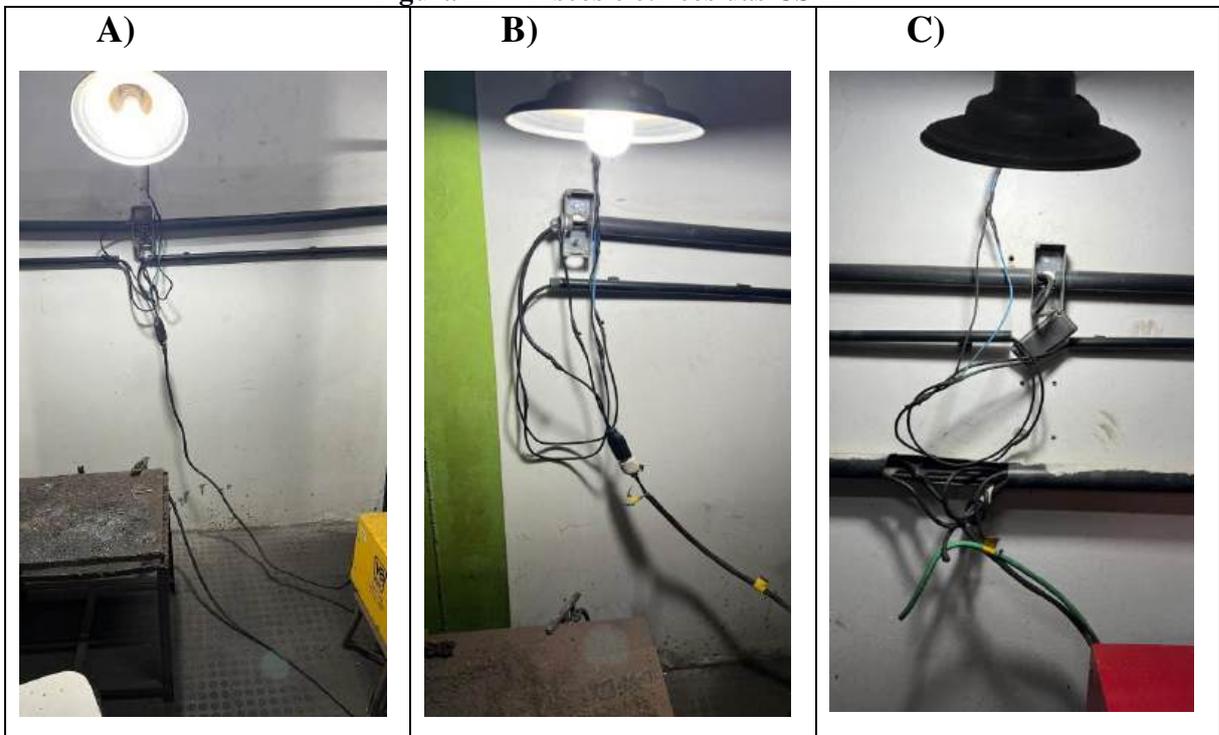
De acordo com a atualização mais recente da NR 17 (Brasil, 2018), que estabelece critérios claros para uma iluminação adequada, esses princípios deveriam ser aplicados no ambiente das CSER. A norma determina que, em todos os locais e situações de trabalho, deve haver iluminação, seja natural ou artificial, apropriada à natureza da atividade (NR 17.8.1). Além disso, a iluminação deve ser projetada e instalada de maneira a evitar ofuscamento, reflexos incômodos, sombras e contrastes excessivos (NR 17.8.2). No entanto, foi constatado que há apenas um ponto de luz sobre as bancadas de soldagem, o que não está em conformidade com as normas vigentes, podendo gerar problemas como ofuscamento e, conseqüentemente, aumentar o risco de acidentes.

Outro problema identificado é a ausência de proteção nas lâmpadas das cabines, expondo os usuários ao risco de estilhaços em caso de quebra. A NR 17.8.3 também enfatiza que, em todos os ambientes de trabalho internos, a iluminação deve atender aos níveis mínimos de iluminância, conforme estabelecido na Norma de Higiene Ocupacional nº 11 (NHO-11) da Fundacentro (2018).

4.1.3 Análise de Segurança das CSER com Foco nas Instalações Elétricas

Observou-se que as cabines de soldagem apresentam riscos significativos de acidentes para os usuários, incluindo choques elétricos e queimaduras. Na Figura 12 pode-se observar os riscos elétricos das CSER, constituídos de fios expostos, fiação irregular, frequentemente deteriorada ou sem a devida proteção, e a estrutura das cabines não possui isolamento adequado. Essa combinação agrava a situação, tornando o ambiente suscetível a choques elétricos, que podem resultar em queimaduras graves, fibrilação cardíaca e, em casos extremos, parada cardíaca, representando um risco fatal para os usuários.

Figura 12 – Riscos elétricos das CSER



Fonte: Acervo do Autor. [fotografada em: 12 jul. 2024]

A NR-10 complementa e reforça a importância de seguir suas diretrizes de segurança para prevenir acidentes graves nas cabines de soldagem, garantindo assim um ambiente de trabalho mais seguro para os usuários. A norma estabelece que todas as intervenções em instalações elétricas devem adotar medidas preventivas de controle do risco elétrico e de outros riscos adicionais, utilizando técnicas de análise de risco para assegurar a saúde e segurança no trabalho (NR 10.2.1). É fundamental que todas as instalações elétricas sejam devidamente isoladas e protegidas para evitar o contato acidental.

A norma também recomenda que os cabos e conectores que fazem parte do sistema elétrico sejam inspecionados regularmente e mantidos em boas condições, a fim de prevenir falhas que possam resultar em choques elétricos (NR 10.4.4). Além disso, determina que as instalações elétricas devem ser mantidas em condições seguras de funcionamento, com sistemas de proteção inspecionados e controlados periodicamente, conforme as regulamentações vigentes e as definições de projeto (NR 10.4.4).

Adicionalmente, é imprescindível que nas instalações e serviços elétricos seja adotada sinalização adequada de segurança, destinada à advertência e à identificação, conforme estabelecido na NR-26 – Sinalização de Segurança. Essa sinalização deve incluir a identificação de circuitos elétricos, travamentos e bloqueios de dispositivos e sistemas de comando, restrições e impedimentos de acesso, bem como a delimitação de áreas (NR 10.10.1).

4.1.4 Análise de Segurança das CSER com Foco nos Riscos de Incêndio

Nas CSER, foram identificados riscos de incêndio decorrentes de vários problemas, como defeitos e falhas nas fiações e nos conectores dos inversores. Durante as operações de soldagem, é necessário adotar medidas preventivas para evitar que centelhas, fagulhas ou metais quentes entrem em contato com essas fiações. Nesse contexto, a NR-23 (Brasil, 2022) apresenta medidas de prevenção contra incêndios, cujo resumo é apresentado no Quadro 6

Quadro 6 – Medidas de Prevenção Contra Incêndios

Medida	Descrição
Sinalização Adequada (NR 23.3.4)	Sinalizar áreas de risco de forma clara e visível. Tanto as rotas de fuga e saídas de emergência quanto os equipamentos de combate devem estar devidamente sinalizados.
Equipamentos de Combate a Incêndio (NR 23.3.2)	Disponibilizar extintores portáteis, mangueiras, hidrantes
Treinamento e Capacitação (NR 23.3.2 (b))	Treinar trabalhadores sobre procedimentos de emergência e uso de equipamentos de combate a incêndio.
Manutenção Preventiva (NR 23.3.1)	Implementar um plano de manutenção preventiva para garantir o funcionamento seguro dos sistemas.
Sistema de Combate a Incêndio (NR 23.3.1)	Projetar um sistema de combate a incêndio adequado às necessidades da edificação, que pode incluir extintores, hidrantes, sistemas de alarme e detecção de incêndio.

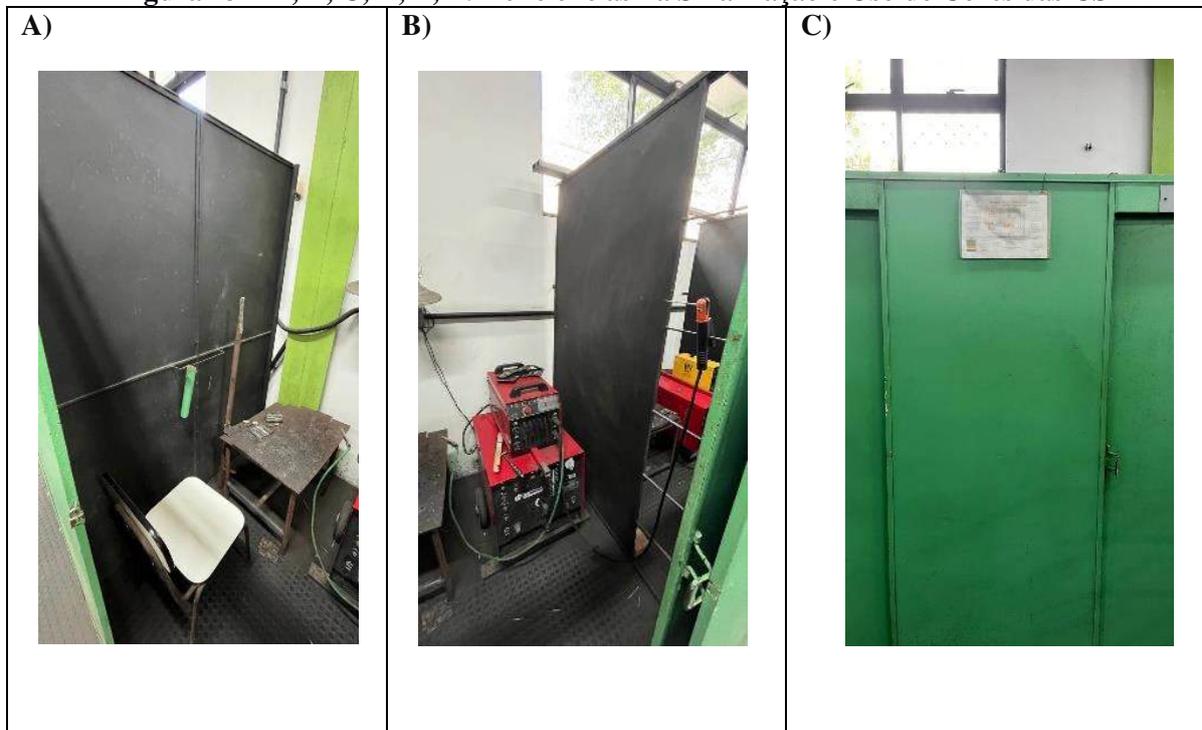
Fonte: NR-23 (Brasil, 2022)

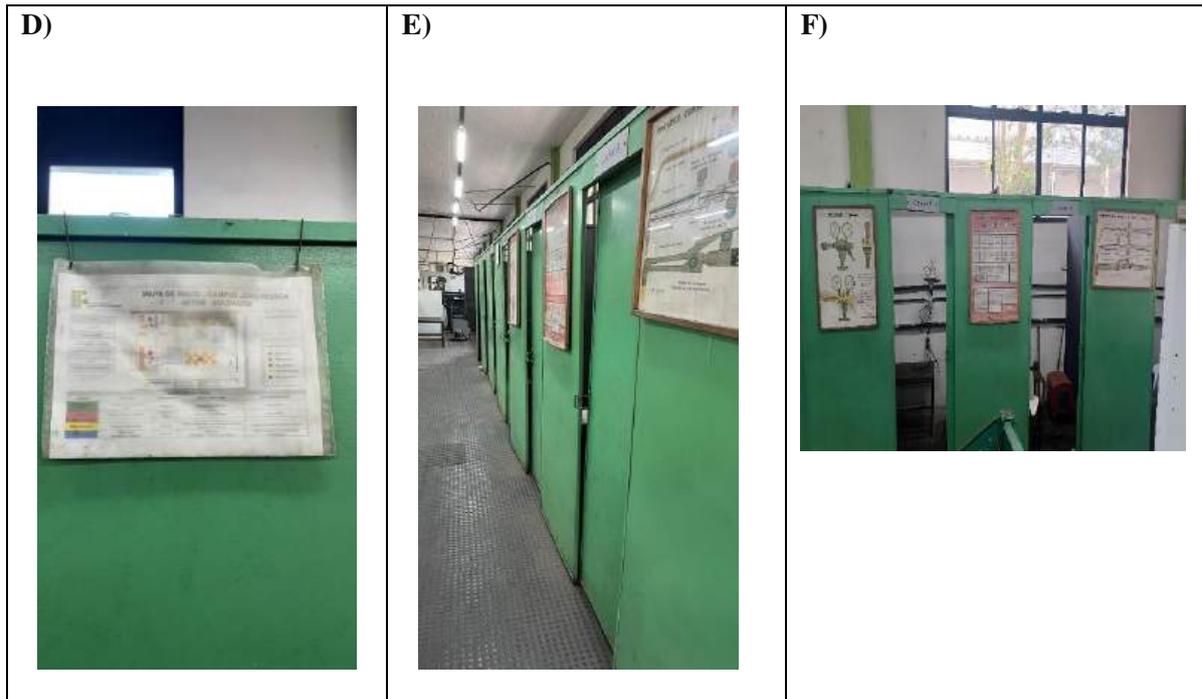
4.1.5 Análise de Segurança das CSER com Foco na Sinalização e Cores

Durante a análise das CSER, foram identificados graves problemas relacionados à sinalização e ao uso de cores. Os sinais de prevenção de acidentes são classificados em várias categorias, incluindo sinalização de perigo, atenção, direcional, segurança e informativa. No entanto, as observações feitas nas cabines indicam que elas não seguem adequadamente as recomendações teóricas quanto ao uso correto das cores e sinalização.

É importante destacar que as poucas sinalizações existentes nas cabines não correspondem aos perigos reais que elas apresentam. Além disso, o mapa de riscos, que deveria ser visível e bem localizado, encontra-se em estado precário. Especificamente, as cabines de soldagem carecem de qualquer tipo de sinalização ou uso de cores que alerte sobre os riscos específicos, o que representa uma grave falha, considerando os perigos inerentes a essa atividade. A Figura 13 (A, B, C, D, E, F) ilustra claramente a deficiência de sinalização e uso de cores adequada em todas as cabines, e o sistema de cores utilizado não está em conformidade com as normas vigentes, como a NR 26 e a NBR 7195, que especificam cores para segurança.

Figura 13 – A, B, C, D, E, F: Deficiências na Sinalização e Uso de Cores das CSER





Fonte: Acervo do autor. [fotografada em: 9 jul. 2024]

A NR-26 também destaca que o uso de cores não substitui outras formas de prevenção de acidentes (NR-26.3.3) e que seu emprego deve ser moderado para evitar distração, confusão e fadiga aos trabalhadores (NR-26.3.4).

Portanto, cores devem ser utilizadas para a comunicação de segurança, com o objetivo de indicar e alertar sobre os perigos e riscos existentes (NR-26.3.1). Isso não apenas atende aos requisitos legais, mas também contribui significativamente para a criação de um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente.

Para facilitar a compreensão das cores a serem utilizadas de acordo com a NBR 7195 (ABNT, 2018), o Quadro 7, resume os significados e as aplicações de cada cor regulamentada.

Quadro 7 – Cores para segurança de acordo com NBR 7195

Cor	Aplicações Específicas
Vermelha	Identificação de equipamentos de proteção e combate a incêndio, saídas de emergência, sinais de parada obrigatória, luzes de sinalização de emergência, e mangueiras de acetileno em soldagem Oxiacetilênica.
Alaranjada	Indicação de perigo em partes móveis de máquinas, caixas de dispositivos elétricos abertos, e equipamentos de salvamento aquático.
Amarela	Indicação de cuidado em escadas, corrimãos, pisos, elevadores de carga, faixas de circulação, meios-fios, áreas de sinalização de combate a incêndio, e pilastras que apresentam risco de colisão.

Verde	Indicação de segurança para localização de equipamentos de primeiros socorros, EPIs, chuveiros de emergência, áreas seguras, e áreas de vivência. Mangueiras de oxigênio em soldagem Oxiacetilênica também são verdes.
Azul	Indicação de ação obrigatória, como uso de EPI e impedimento de movimentação ou energização de equipamentos.
Púrpura	Indicação de perigos de radiações eletromagnéticas penetrantes e partículas nucleares, em locais e recipientes de materiais radioativos.
Branca	Demarcação de passadiços, setas de sinalização, localização de coletores de resíduos e áreas em torno de equipamentos de emergência.
Preta	Identificação de coletores de resíduos, exceto os de origem de serviços de saúde.

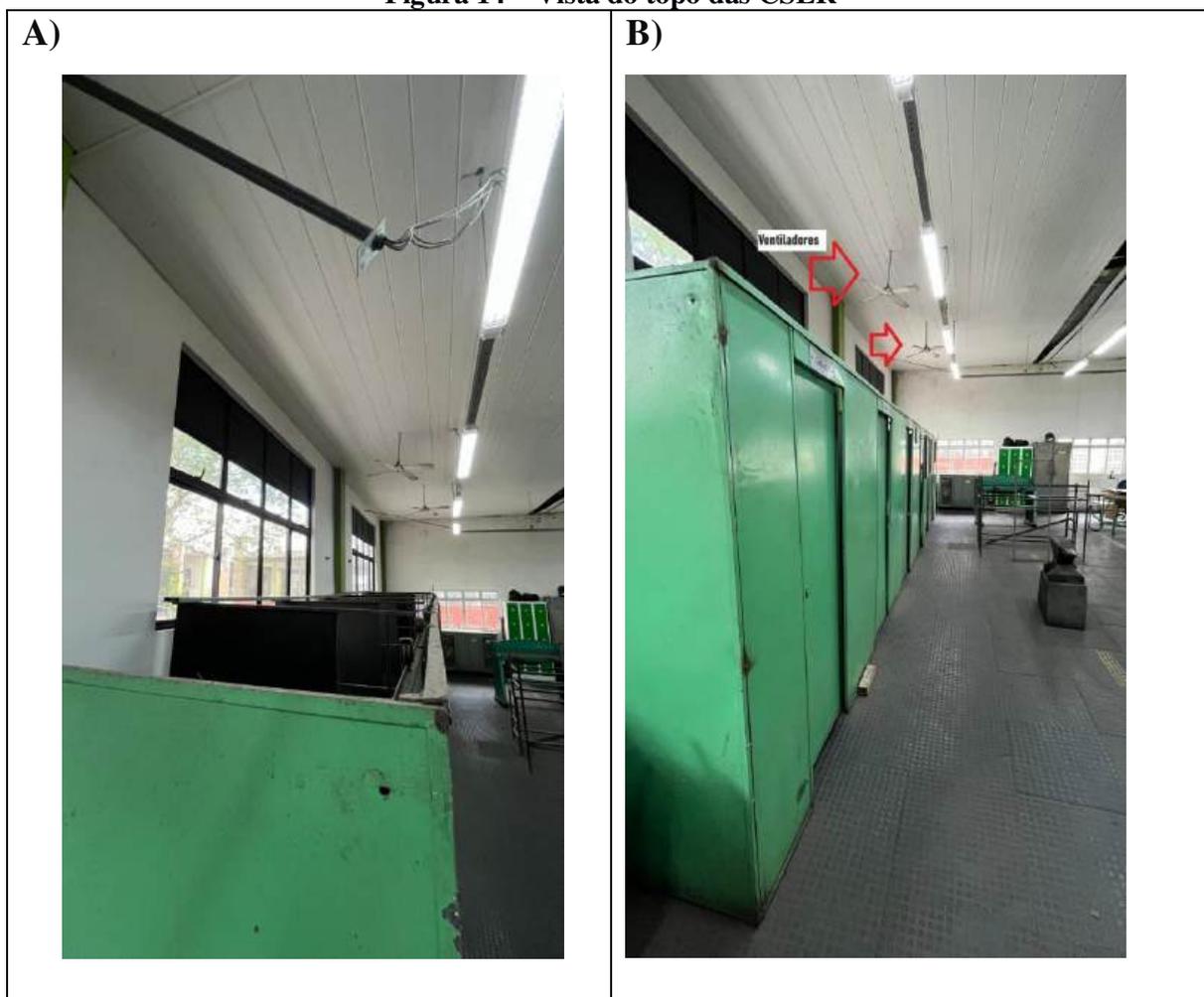
Fonte: NBR 7195 (ABNT, 2018)

As informações acima permitem uma melhor compreensão a respeito das diretrizes estabelecidas pela NBR 7195 (ABNT, 2018), que são essenciais para a sinalização de segurança eficaz nos locais de trabalho.

4.1.6 Análise de Segurança das CSER com Foco nos Fumos Metálicos

A análise realizada nas CSER permite identificar um dos principais riscos abordados nesta pesquisa: a ausência de um sistema de exaustão adequado para combater os riscos químicos, evidenciado pela presença de fumos metálicos resultantes do processo de soldagem por eletrodo revestido, que ocorre durante as aulas práticas. Nesse cenário, observa-se que as cabines possuem janelas que permitem a entrada de ar no laboratório, além de ventiladores posicionados no topo das cabines. No entanto, essas janelas atuam apenas como um meio de ventilação geral diluidora, como mostrado na Figura 14, o que se revela ineficaz para a exaustão específica necessária nas cabines.

Figura 14 – Vista do topo das CSER



Fonte: Acervo do autor. [fotografada em: 9 jul. 2024]

É importante destacar que esse método não impede a emissão de poluentes nas CSER, tampouco realiza a captação específica dos fumos gerados nas bancadas de soldagem durante a execução dos trabalhos pelos alunos. Os ventiladores têm o mesmo efeito das janelas, mas com um agravante: direcionam o fluxo de ar, “empurrando-o” para baixo, ou seja, para dentro das cabines, impedindo que os fumos se dissipem adequadamente e sejam expelidos do ambiente.

De acordo com a NR 34.5.4.1, para o controle de fumos e contaminantes gerados em trabalhos a quente, é essencial garantir a renovação de ar, eliminando gases, vapores e fumos produzidos durante essas atividades. Dessa forma, é necessária a implementação de um sistema de ventilação local exaustora, conforme indicado na NR 34.5.4.1. Além disso, o artigo 15.4.1 da NR-15 estabelece que a eliminação ou controle da insalubridade deve seguir uma ordem específica: primeiro, adotar medidas gerais que mantenham o ambiente de trabalho dentro dos limites aceitáveis, e, em seguida, utilizar equipamentos de proteção individual (EPIs).

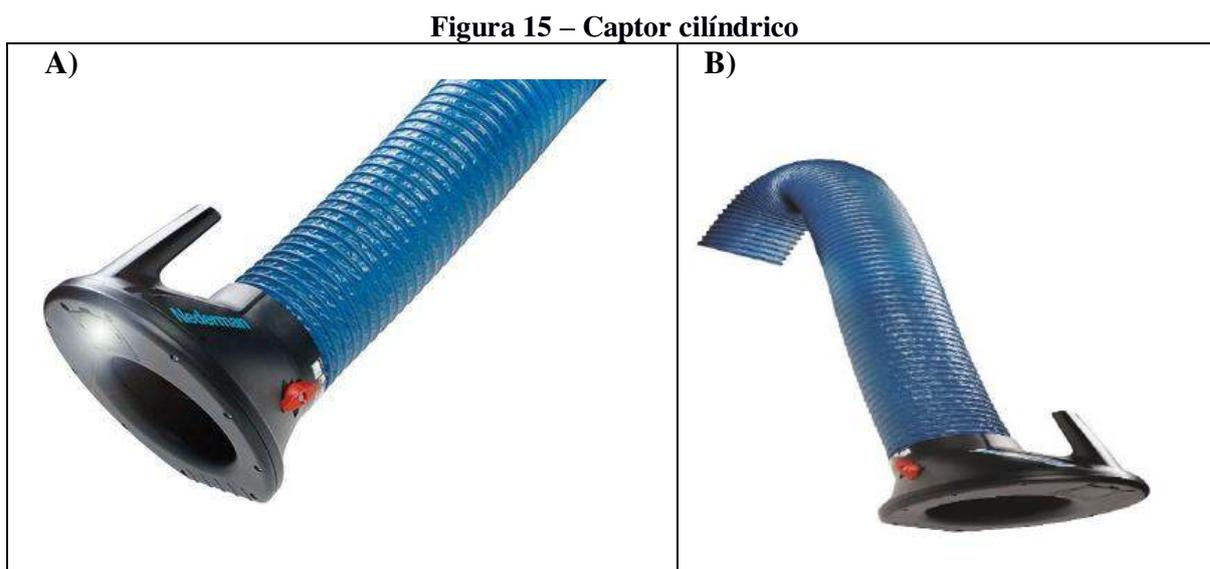
Portanto, fica evidente que, antes de priorizar a implementação de um sistema de exaustão eficaz, é necessário garantir que toda a infraestrutura das cabines esteja em conformidade com os padrões de segurança ocupacional. Resolver um problema de forma isolada, sem considerar as interdependências sistêmicas, pode resultar em falhas maiores e riscos acentuados nas CSER. Assim, a abordagem deve ser holística, integrando simultaneamente a readequação das cabines e a modernização dos equipamentos, garantindo uma solução plena e sustentável.

4.2 Projeto de Sistema de Exaustão

Apresentaremos agora o projeto do sistema de exaustão, idealizado a partir das análises feitas, e em harmonia com as necessidades encontradas nas CSER do IFPB – Campus João Pessoa.

4.2.1 Seleção do captor e determinação de sua vazão

Para o sistema em questão, foi escolhido um captor cilíndrico com flange, da empresa sueca Nederman, cuja captação ocorre através dos braços extratores, como mostrado na imagem 15 (A e B).



Fonte: A – Harold Engineering (2024); B – Nederman (2024)

Esse tipo de captor é altamente flexível e não atrapalha o trabalho, permitindo cobrir uma área maior de soldagem, já que as peças a serem soldadas podem ter tamanhos e formas

variadas. O sistema selecionado foi o “braço extrator original” de 2 metros de comprimento e peso de 11,5 quilogramas, ideal para remover fumos de solda, gases ou poeiras na oficina, além de ter ótima manobrabilidade. Possui também nas campânulas de extração botões de fácil acesso para controlar a luz de trabalho no captor.

Nesse contexto, primeiramente, a vazão no captor (Q) foi calculada utilizando a Equação (2). Para determinar a velocidade de captura (V_c), foram utilizados os dados apresentados no Quadro 3. A distância entre o ponto de captação e o captor (X) foi obtida a partir dos dados da Tabela 1 e a área da seção transversal do captor (Ω) foi consultada no manual do fabricante do captor, que está anexado. Com essas informações, foi possível determinar a vazão, que resultou em 0,222 m³/s em cada captor. A Tabela 2 apresenta os valores de cada variável e o resultado tanto em m³/s quanto em m³/h.

Tabela 2 – Resultado das variáveis

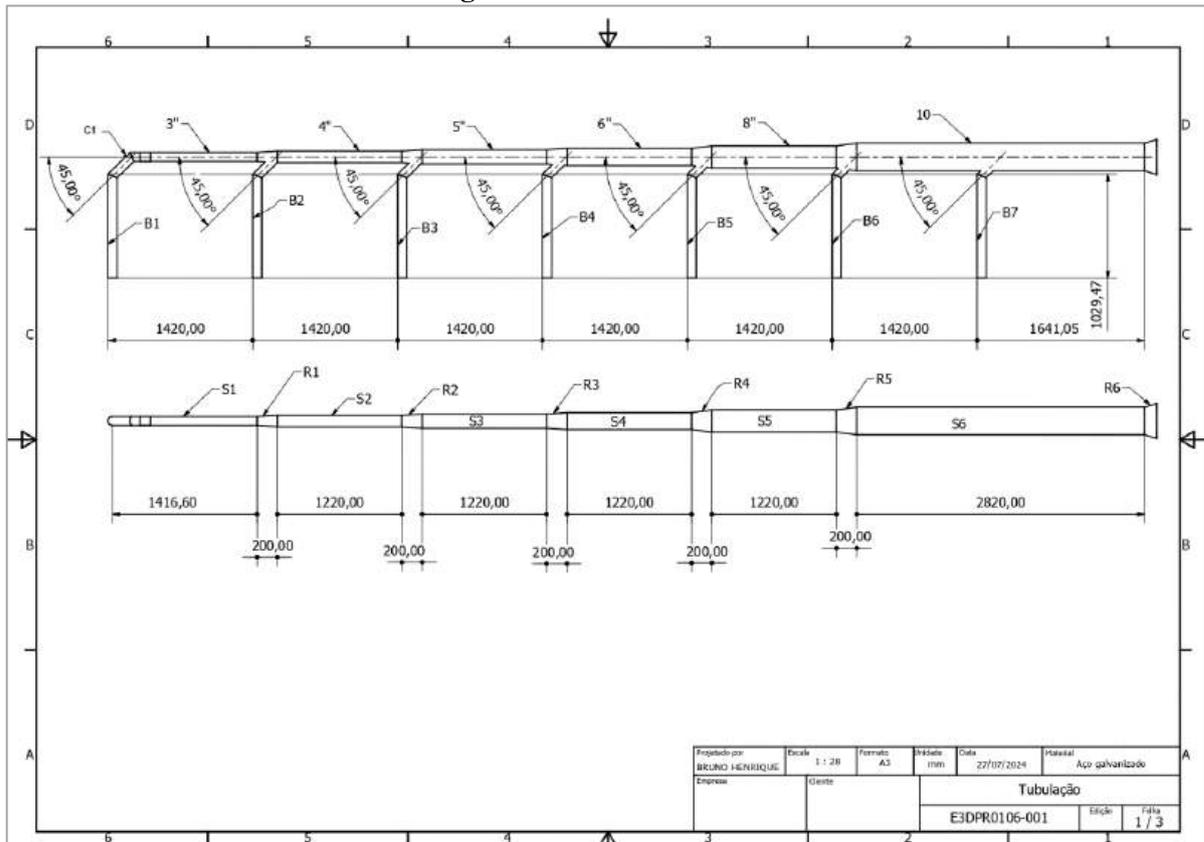
X^2 (m)	Ω (m ²)	V_c (m/s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /h)
0,1524	0,36	0,5	0,222	799,2

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.2 Determinação da rede de dutos

A Figura 16, abaixo, representa uma vista frontal e superior do sistema de ventilação local exaustora das CSER. As seções retas são representadas pelas letras S e B, e os acessórios pelas letras R e C. É importante destacar que as seções B possuem o mesmo diâmetro do braço extrator da empresa Nederman, o que garante que a vazão se mantém constante na seção.

Figura 16 – Redes de Dutos



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir da vazão encontrada, foi possível determinar a velocidade nos diversos trechos do sistema, conforme apresentado no Quadro 4, tendo sido escolhida a velocidade de 10 m/s. O cálculo das dimensões de cada seção foi realizado utilizando as Equações (3) e (4), com o objetivo de manter a velocidade de escoamento do fluido constante na rede de dutos. Posteriormente, foi determinado o diâmetro comercial no catálogo do grupo Aço tubo, sendo as tubulações especificamente de aço galvanizado. Assim, com esse diâmetro comercial, calculou-se a velocidade real nos dutos. Os resultados obtidos dos dutos estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado do Dutos da CSER

Dutos	Q (m^3/s)	A (m^2)	D (m)	$\varnothing D$ (m) – (")	$\varnothing Vr$ (m/s)
S1	0,222	0,0222	0,168	0,1683 – (6")	10
S2	0,444	0,0444	0,237	0,273 – (10")	7,59
S3	0,666	0,0666	0,291	0,3238 – (12")	8,09
S4	0,888	0,0888	0,336	0,3556 – (14")	8,94
S5	1,11	0,111	0,375	0,4064 – (16")	8,56
S6	1,554	0,1554	0,445	0,457 – (18")	9,47

Fonte: Elaborado pelo autor

Onde:

Q = vazão (m^3/s)

A = área da seção transversal do duto (m^2),

D = diâmetro (m)

$\emptyset D$ = diâmetro comercial (m) – (“)

$\emptyset Vr$ = velocidade real (m/s)

Sendo assim, depois de realizar os cálculos teóricos para o correto dimensionamento dos dutos, foram determinadas as perdas de carga do sistema de exaustão.

4.2.3 Determinação do dispositivo de controle de poluição do ar.

Na determinação do dispositivo de controle e poluição do ar foi escolhido o filtro HEPA, pois ele oferece diversas vantagens em sua aplicação. Com uma eficiência de 95% e uma perda de carga final de 450 Pa, ou seja, equivalente a 45,887 kgf/m², é uma excelente opção para sistemas de exaustão. Sua instalação é prática, podendo ser realizada tanto dentro dos dutos quanto na saída do ventilador centrífugo para o ambiente.

As principais vantagens do filtro HEPA incluem:

- Baixa perda de carga, o que contribui para a redução do consumo de energia;
- Disponível em diferentes molduras (como o sistema faca), além de várias dimensões e opções de vedação;
- Garantia contra vazamentos e estanqueidade entre o filtro e a estrutura de montagem;
- Resistente à deterioração quando exposto a gases e fumos.

A Figura 17, ilustra o filtro HEPA em detalhes, o dispositivo de controle e poluição selecionado para o sistema de exaustão.

Figura 17 - Dispositivo de controle de poluição

Fonte: Air e Saúde (2024)

4.2.3 Cálculo de perda de carga do sistema.

Para calcular a perda de carga total no sistema, utilizaram-se as Equações (5) e (6), recomendadas pela ASHRAE. Com a Equação (6), foi possível calcular a perda de carga nas seções retas, levando em conta o comprimento apresentado na Figura 16, bem como a velocidade e a vazão dos dutos, já calculadas e expressas na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultado da perda de carga localizada

Dutos	L (m)	$\varnothing Vr$ (m/s)	Q (m^3/s)	J _{Dutos} (kgf/m ²)
S1	1.42	10	0,222	1,180
S2	1.22	7,59	0,444	0.333
S3	1.22	8,09	0,666	0.305
S4	1.22	8,94	0,888	0.329
S5	1.22	8,56	1,11	0.257
S6	2.82	9,47	1,554	0.624
Total				3.028

Fonte: Elaborado pelo autor

Onde:

J = Perda de carga (kgf/m²)

Vr = Velocidade real (m/s)

Q = Vazão (m^3/s)

l = Comprimento da canalização (m)

Em seguida, para o cálculo das perdas de carga nos acessórios, foi analisado que o sistema das CSER contém 1 curva com dois gomos de 3 peças sendo de 45 graus, 6 derivações de 45 graus e 7 captosres. Nesse contexto, de acordo com Macintyre (1990), o coeficiente de

atrito da curva com gomo é de 0,8, conforme representado na Figura 18, e as derivações de 45 graus têm um coeficiente de atrito de 0,28 o que é demonstrado na Figura 19. O captor foi dimensionado com base na Figura 20 de Costa (2005) e foi considerado um coeficiente de atrito de 0,04. Para esses cálculos, utilizou-se a Equação (5), com resultados expressos na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultado das perdas de cargas nos acessórios

Elementos	λ (adimensional)	J (kgf/m ²)
Curva com dois Gomo C1	0,8	4,893
Derivação R1	0,28	1,713
Derivação R2	0,28	0,986
Derivação R3	0,28	1,121
Derivação R4	0,28	1,369
Derivação R5	0,28	1,255
Derivação R6	0,28	1,129
Captor B1	0,04	0,2446
Captor B2	0,04	0,1409
Captor B3	0,04	0,1601
Captor B4	0,04	0,1955
Captor B5	0,04	0,1793
Captor B6	0,04	0,1613
Captor B7	0,04	0,1613
Filtro Hepa		45,887
Total		59,596

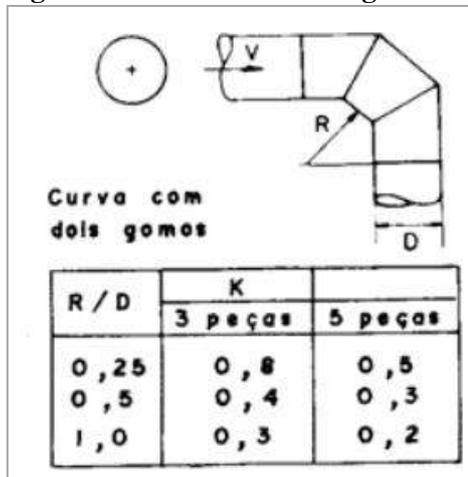
Fonte: Elaborado pelo autor

Onde:

J = Perda de carga (kgf/m²)

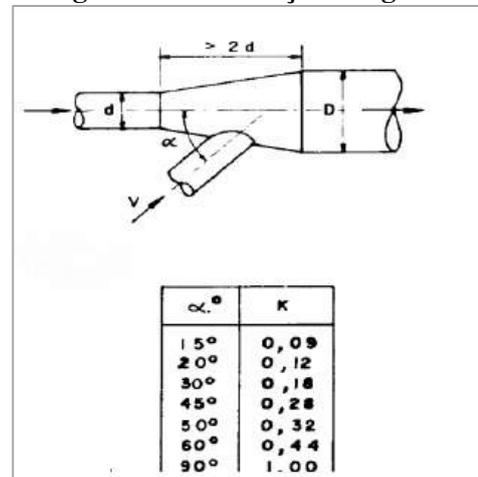
λ = coeficiente de atrito (adimensional)

Figura 18 – Curva com dois gomos



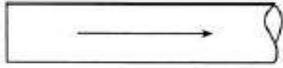
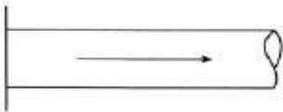
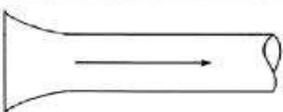
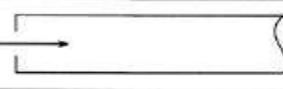
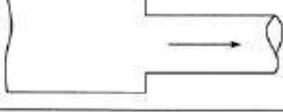
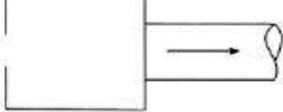
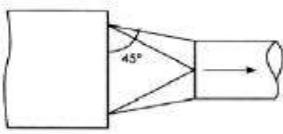
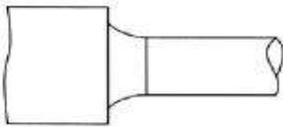
Fonte: Macintyre (1990, p. 141)

Figura 19 – Derivações 45 graus



Fonte: Macintyre (1990, p. 140)

Figura 20 – Tabela de tipos de captores

Tipo de captor	Descrição	λ	μ
	Extremidade plana de duto	0,93	0,72
	Extremidade de duto flangeada	0,49	0,82
	Boca bem arredondada	0,04	0,98
	Orifício de cantos vivos	1,78	0,60
	Captor direto no duto	0,50	0,82
	Orifício mais duto flangeado ($C_{orifício} = C_{duto}$)	2,30	0,55
	Captor ligado ao duto por peça cônica: circular retangular	0,15 0,25	0,93 0,89
	Captor ligado ao duto por peça arredondada	0,06–0,10	0,97

Fonte: Adaptada de Costa (2005, p. 151)

A somatória das perdas de carga nos dutos e dos acessórios está apresentada na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 – Resultado da perda de carga do sistema

J _{duto} (kgf/m ²)	J (kgf/m ²) – Acessórios	Perda de carga Total (kgf/m ²)
3,028	59,596	62,624

Fonte: Elaborado pelo autor

Portanto, a perda de carga total encontrada foi de 62,624 (kgf/m²), os valores calculados para a perda de carga ao longo de todo sistema, são fundamentais para determinar a eficiência do sistema de exaustão

4.2.4 Determinação da máquina de fluxo

De acordo com Costa (2005), os ventiladores mais adequados para sistemas de ventilação local exaustora são os centrífugos com pás inclinadas para trás (*limit load*) ou, em algumas situações, os de pás radiais. Dessa forma, para selecionar o ventilador mais indicado para o sistema de exaustão da CSER foi utilizado o software online disponibilizado pela OTAM S&P, chamado EASYVENT. Nele é necessário inserir informações como a pressão total, a vazão na condição de operação e a tolerância, que já é padrão do software, e, por fim, o tipo de ventilador, como demonstrado na Figura 21.

Figura 21 – Interface do software EASYVENT

The screenshot shows the 'Critérios de seleção' (Selection Criteria) interface of the EASYVENT software. It features several input fields and controls:

- Hertz:** Two buttons for frequency selection, 'cinquenta HZ' (grey) and '60 HZ' (red).
- Fluxo:** A text input field containing '1,554', a dropdown menu set to 'm3/s', and another dropdown menu set to 'Real'.
- Tolerância (%):** A text input field containing '-20', a horizontal slider bar with a central knob, and a text input field containing '20'.
- Pressão:** A text input field containing '62,624', a dropdown menu set to 'kgf /m2', and another dropdown menu set to 'Total'.
- Tolerância (%):** A second instance of the tolerance control, identical to the one above.
- Condições do ar:** A text input field containing '20 °C @ 0m (1,20 kg /m3)' with a small edit icon.
- Ref:** An empty text input field.
- Buttons:** A red 'Selecionar' (Select) button and a grey 'Reiniciar' (Reset) button.

Fonte: <https://easyvent.solerpalau.com/selector/easyvent> [Acesso em: 01 set. 2024]

Dessa forma, foram inseridos os dados no EASYVENT, como o fluxo, que é a vazão de $1,554 \text{ m}^3/\text{s}$; a pressão, que é perda de carga total no valor de $62,624 \text{ kgf}/\text{M}^2$, a partir do que foram escolhidos os tipos de ventilador. Com isso, o software selecionou alguns modelos que atendem ao sistema proposto, conforme pode ser visto na Figura 22.

Figura 22 – Ventiladores pré-selecionados

Descrição	Ponto de trabalho%	Fluxo (m ³ /s)	Ptot (Kgf / m ²)	Poder (cv)	Motor (cv)	Eficiência (%)	Lp Radiada (dB (A))	O vel imp (m/s)	RPM (rpm)	SFP (W / l / s)	SFP reg (W / l / s)
RLS 530 ARR.3 CL.1 - 947rpm - 3cv/ 4p-	99	1,54	62	1,68	3,00	76,0	69	4,90	947	0,94	-
LMS-Q 500 ARR.3 CL.1 - 1683rpm - 4cv/ 4p-	99	1,54	62	1,97	4,00	64,0	74	13,77	1683	1,09	-
RLS-Q 500 ARR.3 CL.1 - 1279rpm - 4cv/ 4p-	100	1,56	63	1,65	4,00	80,0	70	7,80	1.279	0,90	-
RLS-Q 355 ARR.3 CL.2 - 2631rpm - 50cv/ 4p-	100	1,56	63	2,57	cinquenta	51,0	81	15,71	2.631	1,30	-
LMS 630 ARR.1 CL.1 - 1064rpm - 4cv/ 4p-	100	1,56	63	1,66	4,00	78,0	70	8,65	1.064	0,91	-
LMS 800 ARR.1 CL.1 - 769rpm - 3cv/ 4p-	100	1,56	63	1,65	3,00	79,0	64	5,56	765	0,92	-
RLS-Q 560 ARR.3 CL.1 - 1103rpm - 4cv/ 4p-	101	1,57	64	1,70	4,00	78,0	70	6,22	1.103	0,92	-
LMS-Q 560 ARR.3 CL.1 - 1157rpm - 4cv/ 4p-	101	1,57	64	1,83	4,00	73,0	72	11,04	1.357	0,99	-
LMS 560 ARR.1 CL.1 - 1387rpm - 4cv/4p-	101	1,57	64	1,83	4,00	73,0	72	11,04	1.357	0,99	-
RLS-Q 450 ARR.3 CL.1 - 1523rpm - 4cv/ 4p-	101	1,58	64	1,73	4,00	78,0	70	9,85	1.523	0,93	-

Fonte: <https://easyvent.solerpalau.com/selector/easyvent> [Acesso em: 01 set. 2024]

Figura 23 – Ventiladores do sistema de exaustão das CSER

Descrição	Ponto de trabalho%	Fluxo (m ³ /s)	Ptot (Kgf / m ²)	Poder (cv)	Motor (cv)	Eficiência (%)	Lp Radiada (dB (A))	O vel imp (m/s)	RPM (rpm)	SFP (W / l / s)	SFP reg (W / l / s)
RLS 530 ARR.3 CL.1 - 947rpm - 3cv/ 4p-	99	1,54	62	1,68	3,00	76,0	69	4,90	947	0,94	-
LMS-Q 500 ARR.3 CL.1 - 1683rpm - 4cv/ 4p-	99	1,54	62	1,97	4,00	64,0	74	13,77	1683	1,09	-
RLS-Q 500 ARR.3 CL.1 - 1279rpm - 4cv/ 4p-	100	1,56	63	1,65	4,00	80,0	70	7,80	1.279	0,90	-

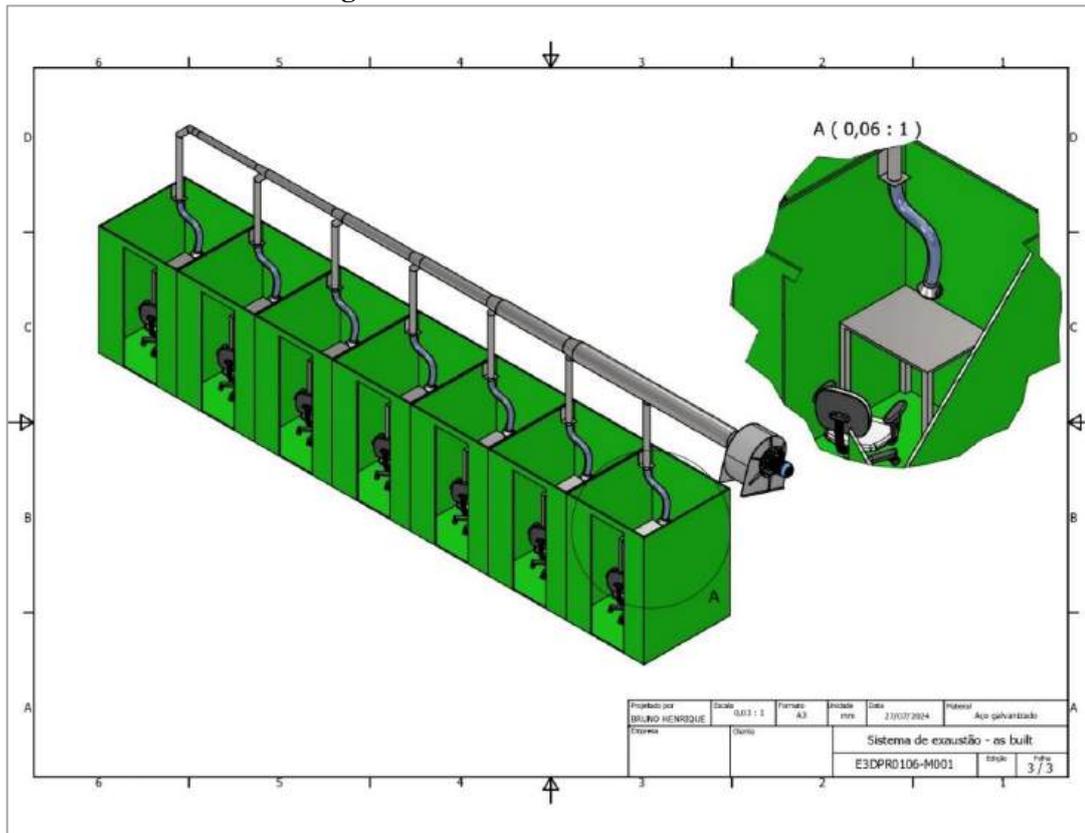
Fonte: <https://easyvent.solerpalau.com/selector/easyvent> [Acesso em: 01 setembro. 2024]

Na Figura 23 foi determinado o ventilador do tipo centrífugo de com pás inclinadas para trás, modelo **RLS-Q 500 ARR.3 CL.1 POSIÇÃO H180 W 1279rpm - 4cv 4POLOS 3-220/380V-60Hz**, que apresenta um rendimento de 80%, uma potência de 1,65 cv e um motor de 4 cv. Esse modelo é chamado de “*limit load*”, ou carga limite, porque possui a característica de apresentar um consumo praticamente constante de potência para uma mesma rotação de operação e tem aplicação em sistemas de ventilação, exaustão e ar-condicionado de alta velocidade. Sua curva característica está apresentada no Anexo A.

4.2.5 Modelo tridimensional do sistema de exaustão

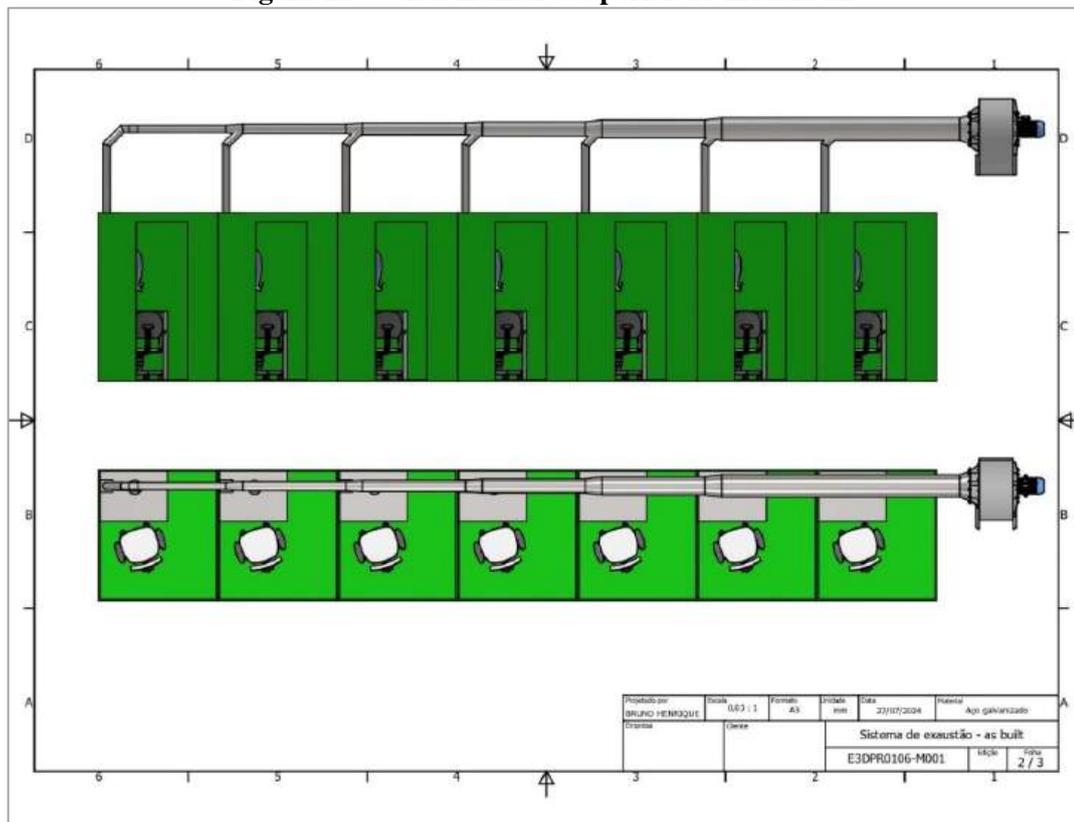
Após o dimensionamento de todo o sistema de ventilação, foi realizado o desenho tridimensional de cada componente e do sistema de exaustão inteiro, junto às cabines de soldagem por eletrodo revestido no software Autodesk Inventor. As Figuras 24 e 25 representam o modelo 3D, sendo possível visualizar o sistema no geral como os dutos, captos, ventilador, curvas, redução de seção e as CSER.

Figura 24 – Isométrica do modelo 3D



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 25 – Vista frontal e superior do modelo 3D



Fonte: Elaborado pelo autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de exaustão para cabines de soldagem por eletrodo revestido no Instituto Federal da Paraíba (IFPB), com base em uma análise de riscos realizada no laboratório de soldagem. A pesquisa destacou a importância de um ambiente de trabalho seguro, evidenciando que as cabines de soldagem, em sua configuração atual, não atendem integralmente às normas de segurança ocupacional, representando um risco significativo à saúde dos usuários.

A metodologia aplicada envolveu uma análise detalhada das condições das cabines de soldagem (CSER), conduzida em julho de 2024, com o intuito de identificar os riscos existentes e dimensionar o sistema de exaustão utilizando softwares de desenho e cálculos técnicos. Foram identificados diversos riscos, como exposição a fumos metálicos, problemas ergonômicos, iluminação inadequada, riscos elétricos e falhas na sinalização de segurança.

No sistema de exaustão projetado, foram utilizados captores cilíndricos com flanges acoplados a dutos flexíveis articulados, conhecidos como braços extratores, que permitem a exaustão diretamente no ponto de soldagem. Os dutos, fabricados em aço galvanizado, foram selecionados por sua eficiência, e os acessórios e demais componentes foram devidamente dimensionados. O dispositivo de controle de poluição escolhido foi o filtro HEPA, com 95% de eficiência na contenção de fumos. O ventilador foi determinado através do software online EASYVENT da OTAM S&P, sendo escolhido o modelo RLS-Q 500 ARR.3 CL.1 POSIÇÃO H180 W 1279rpm - 4cv 4POLOS 3-220/380V-60Hz, com um rendimento de 80%, potência de 1,65 cv e motor de 4 cv.

Este trabalho de conclusão de curso vai além de uma simples análise dos problemas; é um chamado à ação para melhorar as instalações e as práticas de segurança no laboratório de soldagem, visando ao bem-estar de toda a comunidade acadêmica. As análises e resultados demonstram que o sistema de exaustão proposto é capaz de neutralizar a geração de contaminantes no ponto de soldagem, contribuindo significativamente para a segurança e a saúde dos usuários. No entanto, ficou evidente que, antes de priorizar a implementação desse sistema, é necessário adequar toda a infraestrutura das cabines aos padrões de segurança, de modo a mitigar os riscos de forma abrangente.

O estudo também ressalta a urgência de conscientizar gestores, docentes, técnicos e discentes sobre os perigos e irregularidades associados às CSER do laboratório de soldagem do IFPB – campus João Pessoa. Além disso, reforça a importância de um comprometimento

coletivo para implementar as mudanças necessárias, buscando não apenas o cumprimento da legislação vigente, mas também a promoção de um ambiente mais seguro e saudável.

Considerando que o campus João Pessoa do IFPB possui uma comissão responsável por questões de saúde e segurança no trabalho, sugere-se que essa comissão, em conjunto com a direção administrativa, direção de ensino e direção geral, ao receberem e analisarem esta pesquisa, adotem as providências necessárias para realizar todas as adequações em conformidade com a legislação vigente, garantindo a segurança e saúde dos usuários das CSER.

Espera-se que este trabalho inspire uma abordagem proativa por parte dessas instâncias institucionais, para que as ações corretivas sejam efetivamente implementadas. O sucesso deste projeto depende de uma ação coordenada que promova todas as adaptações necessárias nas cabines de soldagem, assegurando a proteção e o bem-estar de toda a comunidade acadêmica.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. G.; RUPPENTHAL, J. E. Aspectos de higiene e segurança na soldagem com eletrodos revestidos em microempresas do tipo serralheria. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 22., Curitiba – PR, 23-25 out. 2002. **Anais...** Curitiba: ABEPRO, 2002. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2002_tr45_1110.pdf. Acesso em: 02 mar. 2024.
- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS – ACGIH. **Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice**. 23. ed. Cincinnati: ACGIH, 1998.
- AR E SAÚDE. **Filtro HEPA nível H13 p/ Purificador de Ar Green Air SS380 Medic-Air**. [Catálogo de produtos]. Florianópolis, 2024. Disponível em: <https://www.aresaude.com.br/hospitalar/filtros/filtro-hepa-nivel-h13-p-purificador-de-ar-green-air-ss380-medic-air>. Acesso em: 15 set. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7195, de 02 de julho de 2018 – Cores para Segurança**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSUNÇÃO, J. V. Ventilação industrial proteção a saúde do trabalhador. **Saúde Ocupacional e Segurança**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 9-22, 1989.
- BARKOKÉBAS, B. **Notas de Aula: Segurança do Trabalho**. Recife: UFPE, 2015.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Guia da Qualidade para Sistemas de Tratamento de Ar e Monitoramento Ambiental na Indústria Farmacêutica**. Brasília, DF: Anvisa, 2013.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Portaria MTP nº 2.769, de 05 de setembro de 2022. Aprova a nova redação da Norma Regulamentadora nº 23 – Proteção contra Incêndios. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ed. 170, p. 90, 6 set. 2022.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Portaria MTP nº 4.219, de 20 de dezembro de 2022. Altera a nomenclatura de Comissão Interna de Prevenção de Acidentes – CIPA nas Normas Regulamentadoras em virtude da Lei nº 14.457, de 21 de setembro de 2022. (Processo nº 19966.100910/2021-44). **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ed. 240, p. 1133, 22 dez. 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mtp-n-4.219-de-20-de-dezembro-de-2022-452780351>. Acesso em: 3 fev. 2024.
- BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria n.º 876, de 24 de outubro de 2018. Altera o item 17.5.3.3 e revoga os itens 17.5.3.4 e 17.5.3.5 da Norma Regulamentadora n.º 17 – Ergonomia. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 76, 25 out. 2018.
- BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria nº 3.214, 08 de junho de 1978. Aprova as Normas Regulamentadoras – NR – do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho. **Diário Oficial da União**: seção 1. Brasília, DF, ed. 127, p. 1, supl. 6 jul. 1978. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-portarias/1978/portaria_3-214_aprova_as_nrs.pdf. Acesso em: 3 fev. 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Secretaria de Inspeção do Trabalho. Portaria SIT nº. 200, de 21 de janeiro de 2011. Aprova a Norma Regulamentadora nº. 34 – Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção, reparação e desmonte naval. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 92-97, 21 jan. 2011.

BRASIL. Portaria nº. 3.733, de 10 de fevereiro de 2020. Aprova a nova redação da Norma Regulamentadora nº 18 Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ed. 29, p. 21, 11 fev. 2020. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2020/02/PORTARIA-Nº-3.733-DE-10-DE-FEVEREIRO-DE-2020-PORTARIA-Nº-3.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2024.

CLEZAR, C. A.; NOGUEIRA, A. C. R. **Ventilação industrial**. Florianópolis: UFSC, 1999.

COSTA, E. C. **Ventilação**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

COSTA NETO, A. A. **Riscos ocupacionais na soldagem**: Uma revisão da literatura. 2017. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Faculdade Anhanguera de São José dos Campos, Jacareí, SP, 2017. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/handle/123456789/15200>. Acesso em: 23 mar. 2024.

DIRECT INDUSTRY. **Exaustores de fumaça móveis**. [Catálogo de produtos]. s.l., 2024. Disponível em: <https://www.directindustry.com/pt/fabricante-industrial/exaustor-fumaca-movel-102825.html>. Acesso em: 24 jun. 2024.

DUTRA, H. F. S. **Reconhecimento dos riscos gerados no setor de soldagem em uma empresa de manutenção hidráulica**. 2022. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Russas, 2022.

FERRARI, C. S. **Dimensionamento de um sistema de ventilação local exaustora para estação de soldagem**. 2021. 55 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal do Espírito Santo, São Mateus, ES, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/1278>. Acesso em: 15 fev. 2024.

FERREIRA, L. S.; PEIXOTO, N. H. **Segurança do Trabalho I**. Santa Maria – RS: Colégio Técnico Industrial da Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 152 p. Disponível em: https://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_amb_saude_seguranca/tec_seguranca/seg_trabalho/151012_seg_trab_i.pdf. Acesso em: 14 de março de 2024.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J.; LEYLEGIAN, J. C. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Editora Nacional, 2014.

FUNDACENTRO. **Norma de higiene ocupacional**: avaliação dos níveis de iluminação em ambientes internos de trabalho: procedimento técnico. NHO-11. São Paulo: Ministério do Trabalho; Fundacentro, 2018. Disponível em: https://www.unicesumar.edu.br/biblioteca/wp-content/uploads/sites/50/2019/06/NHO-11_f.pdf. Acesso em: 24 jun. 2024.

GELESKI, A. **Dimensionamento de um sistema de ventilação local exaustora para fumos metálicos**. 2015. 37 f. TCC (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Faculdade Horizontina, Horizontina, RS, 2015. Disponível em: <https://fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2015/AndreGeleski.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2024.

GUEDES, K. L. *et al.* Análise dos fumos de soldagem e seu impacto na saúde do soldador. *In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS, 2.*, Campina Grande, PB, mar. 2017. **Anais...** Campina Grande, PB: Realize Editora, 2017. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/28161>. Acesso em: 23 mar. 2024.

HAROLD ENGINEERING. **Nederman Original Arm.** [Catálogo de produtos]. s.l., 2024. Disponível em: <https://haroldeng.ie/fume-extraction/extraction-arms/nederman-arm-original/>. Acesso em: 24 jun. 2024.

HEAVY DUTY. Eletrodo Revestido: Saiba tudo sobre. *In: Blog do Heavy Duty*, Colombo, PR, 28 jan. 2018. Disponível em: <https://www.heavyduty.com.br/blog/eletrodo-revestido-saiba-tudo-sobre>. Acesso em: 24 jun. 2024.

LISBOA, H. M. Controle da poluição atmosférica. *In: LISBOA, H. M. Ventilação Industrial.* Florianópolis: ENS/UFSC, 2007. Cap. VI. Recurso eletrônico. Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/CapVentilacaoIndustrial_GERAL.pdf. Acesso em: 23 mar. 2024.

MACINTYRE, A. J. **Ventilação Industrial e Controle da Poluição.** 2. ed. São Paulo: LTC, 1990.

MESQUITA, A. L. S; GUIMARÃES, F. A.; NEFUSSI, N. **Engenharia de ventilação industrial.** São Paulo: Editora CETESB, 1988.

NASCIMENTO, B. A ventilação natural ajudando você na quarentena. *In: Blog EdificarSE*, São Cristóvão, SE, [2020]. Disponível em: <https://edificarse.com.br/a-ventilacao-natural-ajudando-voce-na-quarentena/>. Acesso em: 24 jun. 2024.

NEDERMAN DO BRASIL. **Braços Extratores Original.** [Catálogo de produtos]. Jundiaí, SP: Nederman, 2024. Disponível em: <https://www.nederman.com/pt-br/pws-catalog/p/bracos-de-extracao-original/bracos-extratores-original#>. Acesso em: 21 ago. 2024.

NEDERMAN DO BRASIL. **Riscos e soluções para os fumos de solda:** Manual de saúde para soldadores. Jundiaí, SP: Nederman, 2010. Disponível em: <https://www.nederman.com/~media/nederman-br/folders---capas-e-arquivos/manual-de-saude-para-soldadores.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2024.

SANTOLAIA, S. P. E.; PINA, L. S. Avaliação quantitativa dos agentes químicos presentes no processo de soldagem. *In: MACHADO, M. W. K. (Org.). A engenharia de produção na contemporaneidade.* v.4. Ponta Grossa, PR: Atena, 2018. p.115-123. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/catalogo/download-post/4344>. Acesso em: 21 fev. 2024.

SANTOS, B. K. **Proposta de um sistema de exaustão para estação de soldagem:** estudo de caso de uma empresa agrícola. 2015. 60 f. TCC (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Faculdade Horizontina, Horizontina, RS, 2015. Disponível em: https://fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng_Mecanica/2015/BrunaKarineSantos.pdf. Acesso em: 21 fev. 2024.

SENATORE, J. A. S. Filtros de ar: normalização, tendências e panorama geral. **Revista da Sociedade Brasileira de Controle de Contaminação**, São Paulo, n. 53, p. 28-49, maio-jun. 2011.

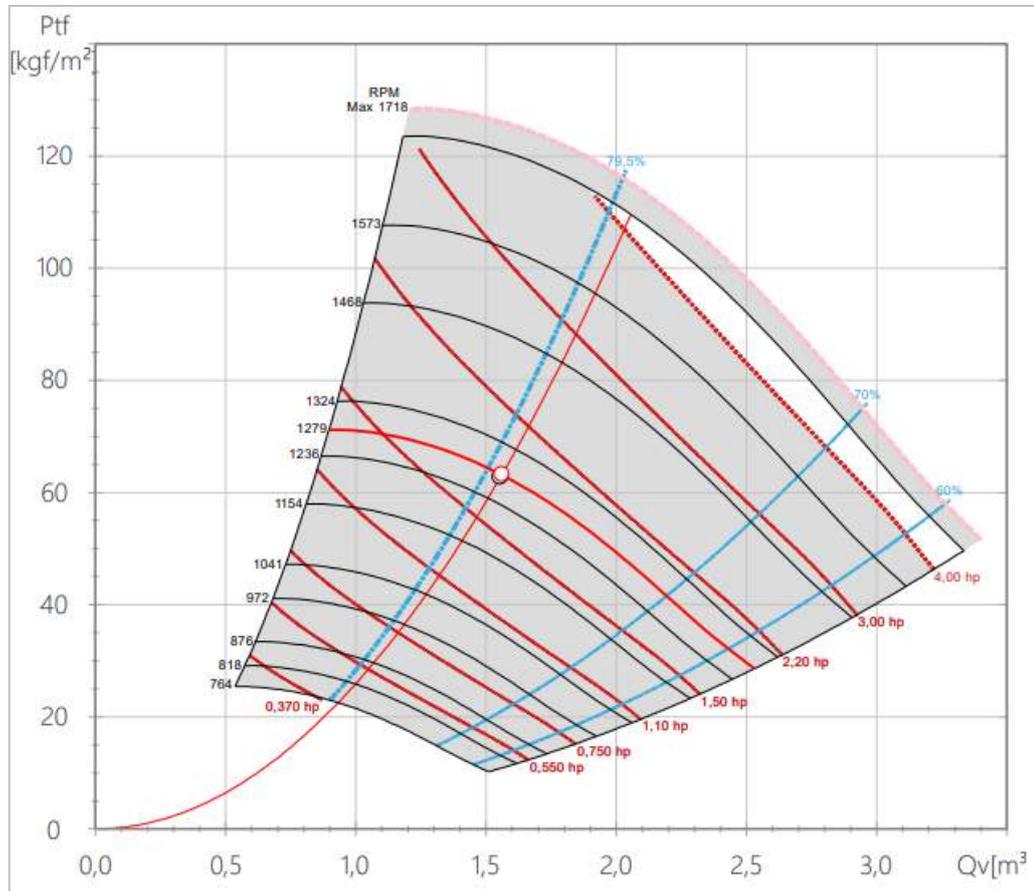
SILVA, S. A. **Análise ergonômica do trabalho do soldador:** contribuição para projeção ergonômica. 2003. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

TREAL EQUIPAMENTOS ESPECIAIS. **Guia de segurança do soldador.** Hortolândia, SP: TREAL, 2018. Disponível em: <https://www.treal.com.br/blog/wp-content/uploads/2020/12/CR002-Manual-da-seguran%C3%A7a-do-soldador-riscos-dos-fumos-de-solda-e-solu%C3%A7%C3%B5es-para-sa%C3%BAde.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2024.

UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ – UNIVALE. **Laboratório de Tecnologia de Soldagem.** Itajaí, SC: Univale, 2022. Disponível em: <https://www.univali.br/laboratorios/laboratorio-de-tecnologia-de-soldagem/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 17 mar. 2024.

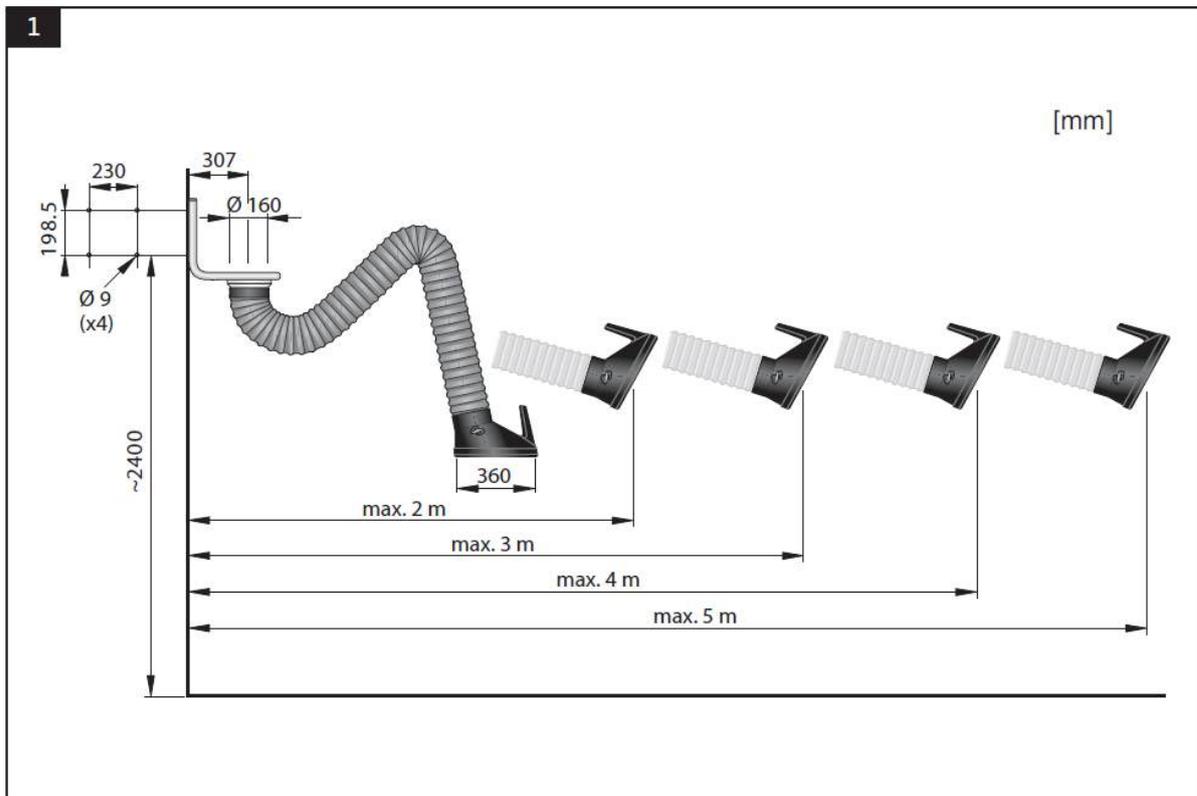
ANEXOS

ANEXO A – CURVA CARACTERÍSTICA DO VENTILADOR



Fonte: <https://easyvent.solerpalau.com/fan-info/0/70300072-1111-CL1-1.279-7845>.
Acesso em: 01 set. 2024

ANEXO B – CARACTERÍSTICAS DO CAPTOR NEDERMAN



Fonte: Nederman (2010)

ANEXO C – SUMÁRIO DO RELATÓRIO DO PROGRAMA ANTI-PLÁGIO (08/09/2024)



Página 2 de 330

Versão do CopySpider: 2.3.1

Relatório gerado por: clebertourinho@gmail.com

Modo: web / normal

Arquivos	Termos comuns	Similaridade
SOARES, Bruno Henrique Barbosa - TCC 2024.docx X https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/3107/1/MONO GRAFIA_DimensionamentoSistemaVentila%C3%A7%C3%A3o .pdf	335	1,75
SOARES, Bruno Henrique Barbosa - TCC 2024.docx X http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/VENTILACAO_IND STRIAL.pdf	242	1,48
SOARES, Bruno Henrique Barbosa - TCC 2024.docx X https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/p df/library/04_sistemasventilacaoindustrial.pdf	229	1,44
SOARES, Bruno Henrique Barbosa - TCC 2024.docx X https://www.unicesumar.edu.br/biblioteca/wp- content/uploads/sites/50/2019/06/NHO-11_f.pdf	138	0,79
SOARES, Bruno Henrique Barbosa - TCC 2024.docx X https://www.sabersst.com.br/ventilacao_industrial	106	0,78
SOARES, Bruno Henrique Barbosa - TCC 2024.docx X https://en.wikipedia.org/wiki/ASHRAE	9	0,06
SOARES, Bruno Henrique Barbosa - TCC 2024.docx X https://www.ashrae.org/about	6	0,04
SOARES, Bruno Henrique Barbosa - TCC 2024.docx X https://engenhariaambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/ field/anexo/caio_almeida_giugni_- _diagnostico_de_sistemas_de_ventilacao_industrial_em_indust ria_alimenticia.pdf	0	0,00
Arquivos com problema de download		
https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/1278/ TCC_Dimensionamento_Ventila%C3%A7%C3%A3o_Local_Ext ustora_Soldagem.pdf?sequence=1&isAllowed=y	Não foi possível baixar o arquivo. É recomendável baixar o arquivo manualmente e realizar a análise em conluio (Um contra todos). - Connection reset	
https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/24027/000742663. pdf%3F...1	Não foi possível baixar o arquivo. É recomendável baixar o arquivo manualmente e realizar a análise em conluio (Um contra todos). - Erro: Parece que o documento foi removido do site ou nunca existiu. HTTP response code: 404 - https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/101 83/24027/000742663.pdf%3F...1	

ANEXO D – SUMÁRIO DO RELATÓRIO DO PROGRAMA ANTI-PLÁGIO (27/10/2024)



Versão do CopySpider: 2.3.1

Relatório gerado por: brunohenrique_h21@hotmail.com

Modo: web / normal

Arquivos	Termos comuns	Similaridade
SOARES, Bruno Henrique Barbosa - TCC 2024 (1).docx X https://www.unicesumar.edu.br/biblioteca/wp-content/uploads/sites/50/2019/06/NHO-11_f.pdf	145	0,82
SOARES, Bruno Henrique Barbosa - TCC 2024 (1).docx X https://www.unicesumar.edu.br/biblioteca/wp-content/uploads/sites/50/2019/06/ManualdePrimeirosSocorros_02.pdf	150	0,51
SOARES, Bruno Henrique Barbosa - TCC 2024 (1).docx X https://www.unicesumar.edu.br/biblioteca/wp-content/uploads/sites/50/2017/02/E-book-Introducao-a-Eletrocardiografia-Clinica-Basica.pdf	148	0,50
SOARES, Bruno Henrique Barbosa - TCC 2024 (1).docx X https://libguides.usc.edu/writingguide/theoreticalframework	5	0,03
SOARES, Bruno Henrique Barbosa - TCC 2024 (1).docx X https://www.ashrae.org	2	0,01
SOARES, Bruno Henrique Barbosa - TCC 2024 (1).docx X https://www.lynettpretorius.com/the_scholars_way_blog/theoretical-and-conceptual-frameworks-in-research	0	0,00
SOARES, Bruno Henrique Barbosa - TCC 2024 (1).docx X http://www.google.com.br/url?esrc=s	0	0,00
Arquivos com problema de download		
https://www.pensandohoje.com.br/material-didatico-da-unicesumar	Não foi possível baixar o arquivo. É recomendável baixar o arquivo manualmente e realizar a análise em conluio (Um contra todos). HTTP response code: 301 - Index 30 out of bounds for length 30	
https://library.sacredheart.edu/c.php%3Fg%3D29803%26p%3D185919	Não foi possível baixar o arquivo. É recomendável baixar o arquivo manualmente e realizar a análise em conluio (Um contra todos). - Erro: Parece que o documento foi removido do site ou nunca existiu. HTTP response code: 404 - https://library.sacredheart.edu/c.php%3Fg%3D29803%26p%3D185919	
https://uk.sagepub.com/sites/default/files/upm-binaries/105274_ch03_14.pdf	Não foi possível baixar o arquivo. É recomendável baixar o arquivo manualmente e realizar a análise em conluio (Um contra todos). - Erro: Parece que o documento não existe ou não pode ser acessado. HTTP response code: 403 - Server returned HTTP response code: 403 for URL: https://uk.sagepub.com/sites/default/files/upm-binaries/105274_ch03_14.pdf	

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, Joao Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Solicitação de inclusão do TCC do discente Bruno Soares, no repositório da Biblioteca do IFPB.

Assunto:	Solicitação de inclusão do TCC do discente Bruno Soares, no repositório da Biblioteca do IFPB.
Assinado por:	Michelline Nery
Tipo do Documento:	Solicitação
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Documento Original

Documento assinado eletronicamente por:

- **Michelline Nery Azevedo Lima, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - CCSBEM-JP**, em 07/11/2024 19:04:37.

Este documento foi armazenado no SUAP em 07/11/2024. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1304730
Código de Autenticação: 511c38d95d

