

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – UTFPR  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA – DAELT  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETROTÉCNICA  
MODALIDADE AUTOMAÇÃO EM ACIONAMENTOS INDUSTRIAIS

GEANFRANCO PASCOALOTTO

**AUTOMAÇÃO DE PROJETO PILOTO DE SISTEMA BIOLÓGICO DE  
TRATAMENTO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2014

GEANFRANCO PASCOALOTTO

**AUTOMAÇÃO DE PROJETO PILOTO DE SISTEMA BIOLÓGICO DE  
TRATAMENTO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Eletrotécnica modalidade Automação em Acionamentos Industriais do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: José da Silva Maia – M. Eng.

Co-Orientador: Anderson C. Sakuma – M. Eng.

CURITIBA

2014

# TERMO DE APROVAÇÃO

GEANFRANCO PASCOALOTTO

## **AUTOMAÇÃO DE PROJETO PILOTO DE SISTEMA BIOLÓGICO DE TRATAMENTO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Tecnólogo em Eletrotécnica, do curso de Tecnologia em Eletrotécnica – ênfase em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 19 de Agosto de 2014.

---

Prof. José da Silva Maia M. Eng.  
Coordenador de Curso  
UTFPR

---

Prof. Rafael Fontes Souto M. Eng.  
Coordenador de Projeto Final da Graduação  
UTFPR

### **BANCA EXAMINADORA**

---

José da Silva Maia M. Eng.  
UTFPR  
Orientador

---

Prof. Ubirajara Zoccoli M. Sc.  
UTFPR

---

Anderson Cardoso Sakuma M. Eng.  
PUCPR  
Co-Orientador

---

Prof.<sup>a</sup> Rosana Mayer M. Eng.  
UTFPR

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elisabete Nakoneczny Moraes  
UTFPR

A meus pais, Iradi e Roseli, pela dedicação, sabedoria, amor incondicional e exemplo que me guiam até hoje.

À minha esposa, Sílvia, que com perseverança, carinho e paciência colaborou para que pudesse realizar este projeto.

À minha irmã, Núria, você vai mais longe!

A Deus, por atender a oração sincera e me apresentar à eletricidade, invisível, porém presente e essencial como Ele.



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor José da Silva Maia, pela sabedoria e amizade que vão além das paredes da UTFPR.

Ao amigo e irmão Anderson Cardoso Sakuma, sem a oportunidade que você me ofereceu esse projeto não seria possível.

Ao Sr. Augusto Celestino Farfus dos Santos, proprietário da Devon's Grill, sua visão de futuro, inovação, respeito com o meio ambiente e com a sociedade o tornam um exemplo para o empresariado, alguém a ser seguido.

Aos colegas do TECPAR, Leandro, Willian, Leonardo e Aline, pela colaboração e ajuda, tanto teórica como prática, para execução deste projeto.

Ao amigo Roberto, pela grande ajuda na hora de configurar as redes de comunicação do projeto.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, animando nos momentos de dificuldade e sempre fornecendo ideias para ajudar a resolver os problemas que apareciam.

PASCOALOTTO, Geanfranco. **Automação de Projeto Piloto de Sistema Biológico de Tratamento de Emissões Atmosféricas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Eletrotécnica com Ênfase em Automação Industrial) - Programa de Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba 2014.

## RESUMO

Este trabalho trata da automação de um projeto piloto de sistema biológico de tratamento de emissões atmosféricas, com abordagem dos benefícios e das funcionalidades que a automação agrega ao projeto, como o monitoramento *on-line* das variáveis monitoradas, o registro dos valores medidos pelos sensores e o controle dos equipamentos instalados de acordo com os valores previamente estipulados pelos pesquisadores. Descreve-se também todo o processo de especificação de equipamentos de automação, desde os sensores até aos controladores utilizados, os métodos de comunicação entre os equipamentos de controle e automação instalados no processo e a linguagem de programação aplicada nos controladores. Explana sobre os equipamentos que foram instalados, a programação efetuada e os resultados obtidos.

**Palavras-chave:** Automação de Projeto Piloto. Sistema Biológico de Tratamento. Tratamento de Emissões Atmosféricas.

PASCOALOTTO, Geanfranco. **Automação de Projeto Piloto de Sistema Biológico de Tratamento de Emissões Atmosféricas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Eletrotécnica com Ênfase em Automação Industrial) - Programa de Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba 2014.

## **ABSTRACT**

This paper deals with the automation of a pilot project for biological treatment system for air emissions addressing the benefits and features that automation brings to the project, such as online monitoring of monitored variables, the log of the indexes measured by the sensors and control of the equipment installed in accordance with the indexes previously determined by the researchers. It is also described the whole process of specification of automation equipment from the sensors to the controllers used, the methods of communication between the automation and control equipment installed along the process and the programming language applied to the controllers. It outlines about the equipments that were installed, the program performed and results obtained.

**Keywords:** Automation Pilot Project. Biological Treatment System. Treatment of Air Emissions.

## LISTA DE SIGLAS

3D – Visão espacial tridimensional  
A – Amperes  
BDC – *Binary-coded decimal*, codifica o sistema decimal em binário  
CIV's – Compostos Inorgânicos Voláteis  
CI – Circuito Integrado  
CLP – Controlador Lógico Programável  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono  
COV's – Compostos Orgânicos Voláteis  
CV – Cavalo Vapor  
E/S – Entradas/Saídas  
GND – do inglês *Ground*, terra  
Hz – Hertz  
IHM – Interface Homem Máquina  
IEC – International Electrotechnical Commission  
I/Os – *In/Out's*, o mesmo que Entradas/Saídas  
KCl – Cloreto de Potássio  
kW – Quilowatt  
mA – miliampere  
mmCA – Milímetros de Coluna d'Água  
MHz – Mega Hertz  
nm<sup>3</sup>/hora – Normal Metro Cúbico Hora  
NPN – tipo de transistor com lógica negativa  
pH – Potencial hidrogeniônico  
PNP – tipo de transistor com lógica positiva  
RPM – Rotações por Minuto  
TECPAR – Instituto de Tecnologia do Paraná  
uF – Micro Farad  
V – Volts

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	14
1.1 TEMA .....	15
1.1.1 Delimitação do Tema.....	16
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS.....	17
1.2.1 Problemas .....	18
1.2.2 Premissas.....	18
1.3 OBJETIVOS .....	19
1.3.1 Objetivo geral.....	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
1.4 JUSTIFICATIVA .....	20
1.5 METODOLOGIA .....	21
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1 POLUENTES ATMOSFÉRICOS.....	23
2.2 TRATAMENTO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS .....	25
2.2.1 Importância do Tratamento dos Poluentes Emitidos .....	25
2.2.2 Tecnologias para Tratamento de Poluentes Atmosféricos .....	25
2.3 A AUTOMAÇÃO.....	28
2.3.1 Definição de Automação.....	28
2.3.2 Finalidade da Automação .....	29
2.3.3 Os Componentes da Automação.....	30
2.3.3.1 Sensores .....	30
2.3.3.2 Atuadores.....	31
2.3.3.3 Controladores.....	32
2.3.3.4 Interfaces Homem Máquina – IHM.....	33
2.4 CRITÉRIOS PARA IMPLANTAÇÃO DA AUTOMAÇÃO .....	34

2.4.1	Dados da Instalação.....	35
2.4.1.1	Restrições do Local da Instalação .....	35
2.4.1.2	Tensões Disponíveis.....	35
2.4.1.3	Frequência da Rede Elétrica.....	36
2.4.1.4	Distância entre os Equipamentos.....	36
2.4.2	Dados da Aplicação.....	36
2.4.2.1	Precisões Requeridas da Aplicação.....	37
2.4.2.2	Desempenho Esperado da Aplicação .....	37
2.4.2.3	Instrumentos e Sensores da Aplicação.....	37
2.5	PROGRAMAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE AUTOMAÇÃO.....	38
2.5.1	Linguagem <i>Ladder</i> .....	39
2.5.2	Comunicação Aplicada a Automação .....	41
2.5.2.1	<i>Ethernet/IP</i> .....	42
2.5.2.2	Modbus RTU .....	43
2.6	DADOS DO PROCESSO.....	43
2.6.1	Monitoramento.....	44
2.6.2	Controle .....	44
2.6.3	Investigação .....	44
2.6.4	Registro dos Valores Medidos.....	45
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	46
3.1	IDENTIFICAÇÃO DO SISTEMA ANTERIOR A AUTOMAÇÃO.....	46
3.2	O SISTEMA PROPOSTO .....	47
3.2.1	Fotobiorreatores de placa plana contendo microalgas para o tratamento de odor de fumaça de churrascaria.....	48
3.3	AUTOMAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO.....	51
3.3.1	Controle de Vazão de Fumaça.....	52
3.3.2	Controle de Temperatura do Meio de Cultivo .....	53

3.3.3	Controle de pH do Meio de Cultivo.....	54
3.3.3.1	Dispositivo de Análise de Amostras.....	54
3.3.3.2	Circuito Sequencial de Acionamento dos equipamentos do Dispositivo de Análise de Amostras.....	56
3.3.4	<i>Data Logger</i> - Armazenamento e Disponibilização dos Dados.....	58
3.4	ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES UTILIZADOS NO PROJETO ....	59
3.4.1	Sensores .....	59
3.4.1.1	Sensor de Temperatura .....	59
3.4.1.2	Sensor de pH .....	60
3.4.1.3	Sensor Fotoelétrico .....	60
3.4.2	Atuadores .....	60
3.4.2.1	Relés da Iluminação Artificial .....	61
3.4.2.2	Relés das resistências de aquecimento.....	61
3.4.2.3	Compressor Radial .....	61
3.4.3	Controlador Logico Programável.....	62
3.4.4	<i>Data Logger</i> .....	62
3.4.5	IHM.....	63
3.4.6	Painéis e Cabeamento .....	64
3.4.7	Eletrônica de Apoio.....	64
3.4.8	Orçamento dos materiais e equipamentos .....	65
3.5	INTERCONEXÃO DOS COMPONENTES.....	65
3.6	CARGA DOS PROGRAMAS DE AUTOMAÇÃO .....	66
3.6.1	Programa da IHM .....	67
3.6.2	Programa do CLP .....	69
3.6.3	Programa do <i>Data Logger</i> .....	70
3.7	<i>START-UP</i> E TESTES DE FUNCIONALIDADE .....	71
3.8	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	72

4 CONCLUSÃO .....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75
Anexo 01 .....	79
Anexo 02 .....	81
Anexo 03 .....	83



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de um biolavador .....	15
Figura 2 - Dimensões do problema .....	17
Figura 3 - Chaminés dos Jogos Olímpicos de Londres 2012.....	22
Figura 4 - Sensores de temperatura tipo PT100 com e sem mostrador local .....	31
Figura 5 – Atuadores do tipo válvulas. ....	31
Figura 6 – Modelos de Controladores Lógico Programáveis.....	32
Figura 7 - Diagrama de blocos do funcionamento da automação .....	33
Figura 8 - Modelos de Interface Homem Máquina .....	34
Figura 9 - Exemplo de diagrama Ladder.....	39
Figura 10 - Processo de controle .....	44
Figura 11 - Modelagem 3D da churrasqueira e chaminé do projeto.....	46
Figura 12 - Modelagem 3D - lavador de gases da chaminé.....	47
Figura 13 - Fotobiorreatores instalados na Devon's Grill.....	48
Figura 14 - Motor soprador (compressor radial).....	49
Figura 15 - Esquema e etapas do Sistema de tratamento .....	50
Figura 16 - Equação da velocidade do motor.....	52
Figura 17 - Dispositivo de Análise de Amostras.....	54
Figura 18 - projeto do circuito sequencial.....	57
Figura 19 - Data Logger utilizado no projeto .....	58
Figura 20 - Diagrama multifilar do projeto .....	66
Figura 21 - Redes de comunicação utilizadas no projeto.....	67
Figura 22 - Tela de abertura da IHM .....	68
Figura 23 - Tela principal da IHM.....	68
Figura 24 - Tela de parametrização de temperatura .....	69
Figura 25 - Tela de programação do data logger .....	70
Figura 26 - Tela de programação dos canais do data logger .....	71

## INTRODUÇÃO

O aumento da população desencadeou diversos problemas ambientais, um deles é a qualidade do ar. O uso da madeira e principalmente do carvão para aquecimento, preparo de alimentos e para indústria fizeram com que o ar nas cidades se tornasse cada vez mais poluído.

A poluição atmosférica é formada, principalmente, por dois compostos, os COV's, responsáveis pelo odor e os CIV's, ambos provenientes em grande parte da queima em processos industrializados. O problema do odor originado pela poluição atmosférica gera cerca de 50% das denúncias ambientais no mundo (KAYE & JIANG, 2000 apud SCHIRMER, LISBOA & MUNIZ, 2005).

Segundo Balbinot (2010 apud NICELL, 2009) odores podem causar uma variedade de indesejáveis reações nas pessoas, que podem variar desde simples incômodos até efeitos sobre a saúde. Exposições prolongadas a odores podem ocasionar desconforto, náusea, dores de cabeça, vômitos e problemas respiratórios. Além disso, longas exposições podem acarretar problemas psicológicos e levar a sintomas como stress emocional, perda de apetite, insônia e alta irritabilidade.

De acordo com Reis Jr. (s.d., transparências 4-6) em 1853 foram promulgadas as primeiras leis de controle de fumaça. Na cidade de Londres, em 1911, ocorreu o primeiro grande desastre de poluição atmosférica, com cerca de 1150 mortes. Entre 1925 e 1950 realizaram-se as primeiras conferências científicas sobre poluição do ar, proporcionando mudanças significativas nas leis em todo o mundo.

Uma das tecnologias disponíveis para o tratamento do odor de emissões atmosféricas são os biolavadores (BURGESS, 2001), que fazem a transferência do contaminante para o meio líquido através da contra-lavagem e o produto é encaminhado para bioreatores contendo os microrganismos degradadores dos contaminantes, conforme ilustrado na figura 01 (KNNES & VEIGA, 2001).

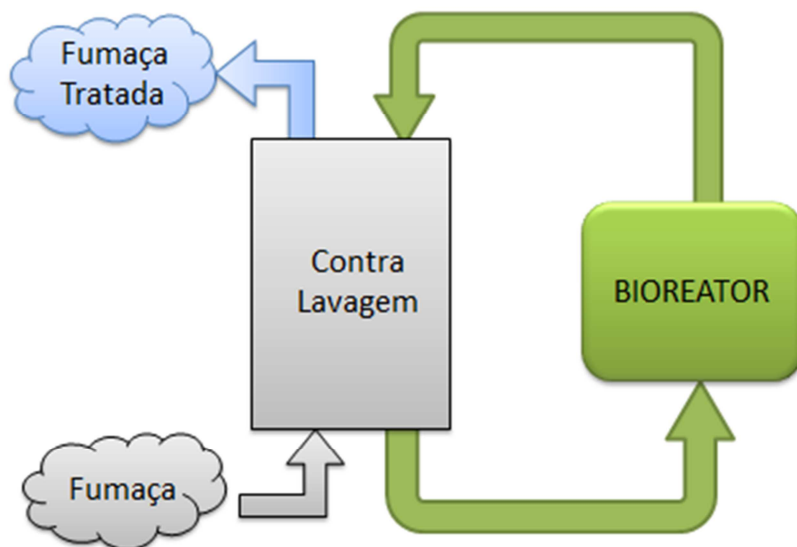


Figura 1 - Esquema de um biolavador

Fonte: Autoria própria

Um tipo de microrganismo utilizado são as microalgas, organismos simples que contêm clorofila (GUIRY, 2010), portanto realiza fotossíntese, processo descrito na equação simplificada abaixo:



### 1.1 TEMA

Em dezembro de 2009 uma churrasceria localizada na região central de Curitiba, que estava enfrentando problemas com a vizinhança devido à emissão de odores da sua atividade comercial e os órgãos ambientais condicionaram a emissão do alvará de funcionamento à solução do problema do odor emitido, entrou em contato com o TECPAR, para montagem de um sistema de tratamento destes odores. Iniciaram-se os estudos laboratoriais preliminares, e estes indicaram a viabilidade técnica do tratamento do odor associado à fumaça emitida por este estabelecimento.

O processo de tratamento desenvolvido utiliza um biolavador com microalgas, que fazem o tratamento da fumaça, e grande parte dos

nutrientes necessários para o cultivo das microalgas são fornecidos pela própria fumaça tratada, viabilizando economicamente o processo.

Para que tal sistema funcione adequadamente, faz-se necessário um processo automatizado que mantenha o cultivo de microalgas em condições ideais.

Após a etapa laboratorial iniciaram-se estudos para construção de uma unidade piloto para ser instalada nas dependências da churrascaria. Para sua viabilização foi imprescindível que a unidade piloto fosse automatizada, com o intuito de diminuir o tempo gasto com especialistas no cultivo de microalgas no local, dar confiabilidade ao sistema e para evitar variações bruscas dos parâmetros laboratoriais.

Para obter este propósito, o TECPAR ofereceu uma bolsa de estudos para o desenvolvimento da automação desta unidade, dando origem a este trabalho de conclusão de curso.

Como síntese pode-se concluir que o tema desta pesquisa é: Automação de projeto piloto de sistema tratamento para redução de odores de emissões atmosféricas.

### **1.1.1 Delimitação do Tema**

Este trabalho visa implantar a automação do projeto piloto de sistema tratamento para redução de odores de emissões atmosféricas em uma churrascaria na região central de Curitiba.

Os parâmetros necessários para a automação do sistema foram obtidos pela etapa laboratorial, os quais serão aplicados para estabelecer os parâmetros iniciais de funcionamento da unidade piloto.

Este trabalho consiste no projeto e implantação da automação do sistema na unidade piloto, para atender as receitas previstas pelas indicações laboratoriais, controlando a temperatura, a vazão de fumaça e a incidência luminosa e realizar o monitoramento do pH e turbidez, e disponibilizando on-line as informações de temperatura, vazão, pH e turbidez do sistema

Trata-se de um projeto multidisciplinar, que envolve aplicação de muitos campos de conhecimento, como bioquímica, ciências do ambiente, engenharia mecânica, engenharia civil, arquitetura e automação industrial.

Este trabalho se limitará na especificação e na implementação da etapa de automação do projeto.

## 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Existem varias dimensões das situações problema neste projeto, como apresentado na figura 02:

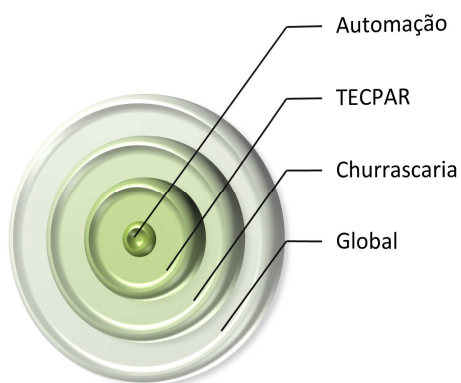


Figura 2 - Dimensões do problema

Fonte: Autoria Própria

Na dimensão global, o problema é a poluição atmosférica, evidenciada pela emissão do odor, que afeta a comunidade vizinha à churrascaria, dentro desta dimensão está a churrascaria, seu problema é encontrar um sistema de tratamento que elimine o odor, para que a mesma consiga o alvará de funcionamento, para isso procurou o TECPAR, que tem como problema desenvolver um sistema de tratamento dos odores emitidos pela churrascaria, o qual foi seu objeto de pesquisa e desenvolvimento. Desenvolvido o sistema em laboratório, foi necessário instalar uma unidade piloto de tratamento na churrascaria, para que isso fosse possível, o TECPAR necessitava que o sistema fosse automatizado, e este problema é o foco deste trabalho.

### 1.2.1 Problemas

No que se trata da automação, os problemas encontrados e que serão abordados nesta pesquisa são:

- 1º - A necessidade de monitorar e controlar as variáveis necessárias para o cultivo das microalgas no sistema.
- 2º - A necessidade de monitoramento das condições do sistema a distância, alertando se o sistema apresentar algum problema.
- 3º - Armazenamento dos dados obtidos pela unidade piloto para aperfeiçoamento do sistema de tratamento.

Devido a estes problemas, apesar da etapa laboratorial ter apresentado eficiência de tratamento superior a 92%, a instalação de uma unidade piloto no local, que se mantenha dentro dos parâmetros laboratoriais que lograram êxito ao experimento é de primordial importância, mas que não necessariamente obterá os mesmos resultados.

Logo: **Como tornar a unidade piloto capaz de manter-se nos parâmetros pré-estabelecidos em laboratório e informar os dados necessários para seu controle online?**

### 1.2.2 Premissas

Atinge-se tal objetivo com o uso de um Controlador Lógico Programável (CLP), que fará o controle das variáveis obtidas pelos sensores instalados no sistema, e de acordo com estes dados, comparará com os dados estipulados em laboratório e irá criar o ambiente propício para o desenvolvimento das microalgas.

Com a automação, os dados poderão ser visualizados tanto no local, através da IHM, como também online, possibilitando a tomada de ações de acordo com as necessidades do sistema.

Os dados coletados e armazenados da unidade piloto permitirão aos pesquisadores definirem as diretrizes necessárias para o aperfeiçoamento do processo.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo geral

Implantar a automação na unidade piloto do sistema biológico de tratamento de emissões atmosféricas para efetuar o controle das variáveis temperatura, vazão de fumaça e incidência luminosa e realizar o monitoramento do pH e turbidez, de acordo com as necessidades laboratoriais, disponibilizando, on-line, as informações de vazão, temperatura, pH e turbidez do sistema.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Projetar a automação do sistema biológico de tratamento de emissões atmosféricas, conforme especificações orientadas pelo TECPAR.
- Especificar os componentes necessários a automação do sistema baseado nos parâmetros laboratoriais pré-estabelecidos.
- Efetuar montagem dos componentes necessários a automação do sistema na unidade piloto.
- Implantação do programa de automação e transmissão de dados.
- Efetuar o comissionamento da automação do processo.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Diversas empresas enfrentam problemas devido as suas emissões atmosféricas, problemas tanto de cunho ambiental como de ordem social. Estas situações prejudicam não somente a vida dos atingidos diretamente pelas emissões, como também agregam a empresa poluidora uma depreciação de sua marca e conseqüentemente de seus produtos no mercado.

De acordo com QASIM (1994), os consumidores passaram a ver a forma com que uma empresa relaciona-se com o meio ambiente na qual está inserida como sendo um valor de qualidade. Segundo GARVIN (1992) os consumidores passam a atribuir o *status* de melhor qualidade aos produtos e serviços disponibilizados com nenhum ou reduzidos impactos ambientais negativos.

A necessidade de atenuar os impactos ambientais inerentes ao processo de fabricação de seus produtos tem como solução possível a utilização do sistema apresentado neste trabalho e sendo este uma pesquisa, a automação é indispensável no controle e registro das variáveis do processo.

A instalação da unidade piloto sistema biológico de tratamento de emissões atmosféricas agregará ao estabelecimento onde será instalado um maior valor a sua marca, pois o mesmo estará promovendo a redução de suas emissões atmosféricas poluentes, mostrando a preocupação ambiental da empresa, sendo pioneira no tratamento de emissões na sua área de atuação.

Além disso, irá proporcionar a circunvizinhança do referido estabelecimento uma melhor qualidade do ar em curto prazo, e futuramente uma possível neutralização de suas emissões, atenuando os impactos sociais causados por suas emissões.



## 1.5 METODOLOGIA

Esta pesquisa é classificada quanto à natureza como pesquisa tecnológica, pois de acordo com JUNG (2004) a pesquisa tecnológica tem por objeto principal a obtenção de um novo produto ou processo. Nesse tipo de pesquisa são utilizados os conhecimentos gerados por pesquisas básicas, como também tecnologias existentes.

No que se refere ao objetivo macro esta pesquisa enquadra-se como descritiva, pois demonstra como detalhadamente está se comportando o sistema e descreve como o mesmo foi feito, JUNG (2004).

Será instalado na unidade piloto todo o sistema de automação, que coletará os dados necessários para aprimoramento do processo e terá como função controlar as variáveis do processo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Durante a cerimônia de abertura dos jogos olímpicos de Londres de 2012, foi retratada a história do país, lembrando como era a Inglaterra agrícola do período medieval, passando pela revolução industrial até chegar aos dias atuais. O interessante é que para retratar o período da revolução industrial, os símbolos utilizados como sinal de progresso foram grandes chaminés fumegantes, que tomaram conta de toda paisagem, simbolizando todo o progresso da época, conforme ilustra a figura 03.



Figura 3 - Chaminés dos Jogos Olímpicos de Londres 2012

Fonte: reutes.com

As chaminés fumegantes que já foram símbolo de progresso, hoje tem sua imagem maculada por estarem associadas a poluição atmosféricas, doenças respiratórias, poluição visual, mau cheiro e descaso com o meio ambiente. Por esse motivo que nos setores da indústria e comércio em que a emissão de fumaça não pode ser eliminada e a presença da chaminé é indispensável, os empresários

tem tomado todos os cuidados para mitigar as emissões, para que sua marca/empresa não receba o mesmo rótulo que os chaminés tem.

Este capítulo fornecerá a base para entender a tecnologia em automação aplicada neste projeto. Como se trata de um projeto multidisciplinar, que abrange as áreas da química, microbiologia, engenharia mecânica e automação, a fim de colaborar para a melhor compreensão do processo utilizado, serão apresentados alguns conceitos da área química e microbiológica, que foram repassados pelos especialistas da área que também trabalham neste projeto.

Aqui tratar-se-á da automação, sua especificação, equipamentos, linguagens de programação e os benefícios obtidos pela utilização da automação no processo, como a obtenção de dados, comunicação remota entre outros.

## 2.1 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

De acordo com CETESB (2014) considera-se poluente qualquer substância presente no ar e que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, causando inconveniente ao bem estar público, danos aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

O nível de poluição atmosférica é medido pela quantidade de substâncias poluentes presentes no ar. A variedade das substâncias que podem ser encontradas na atmosfera é muito grande, o que torna difícil a tarefa de estabelecer uma classificação. Para facilitar esta classificação, os poluentes são divididos em duas categorias, conforme apresentado no Quadro 1:

Poluentes Primários	Poluentes Secundários
Emitidos diretamente pelas fontes de emissão.	Formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera.

Quadro 1. Poluentes primários e secundários

Fonte: [www.cetesp.sp.gov.br/ar/informa/es-Basicas/21-Poluentes](http://www.cetesp.sp.gov.br/ar/informa/es-Basicas/21-Poluentes)

Para conhecimento, no anexo 01 são apresentados os principais poluentes atmosféricos, as fontes de emissão e os efeitos no meio ambiente.

A Resolução Conama n. 382 de 2006 (Brasil, 2006) estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosférico para fontes fixa e adota as definições referentes aos poluentes que não possuem característica química definida, tais como:

- **Compostos Orgânicos Voláteis (COVs):** compostos orgânicos que possuem ponto ebulição de até 130°C na pressão atmosférica e podem contribuir na formação dos oxidantes fotoquímicos;
- **Enxofre Reduzido Total (ERT):** compostos de enxofre reduzido, medidos como um todo, referindo-se principalmente ao gás sulfídrico e as mercaptanas, expresso como dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>);
- **Material Particulado (MP):** todo e qualquer material sólido ou líquido, em mistura gasosa, que se mantém neste estado na temperatura do meio filtrante, estabelecida pelo método adotado;
- **NO<sub>x</sub>:** refere-se a soma das concentrações de monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), sendo expresso como (NO<sub>2</sub>); e
- **SO<sub>x</sub>:** refere-se a soma das concentrações de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e trióxido de enxofre (SO<sub>3</sub>), sendo expresso como (SO<sub>2</sub>).

## 2.2 TRATAMENTO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Nos últimos 200 anos, a concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera aumentou 27%, sendo que metade deste aumento ocorreu nos últimos 30 anos – as concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera passaram de 272 ppm na era pré-industrial para 346 ppm em 1986 (HALL & CALLER, 1989).

A queima do carvão vegetal, além de causar o aumento dos índices de dióxido de carbono na atmosfera, resulta na liberação de diversos materiais voláteis que se perdem na fumaça, uma vez que o aproveitamento direto desta biomassa é de apenas 33% (PASA, 2000).

### 2.2.1 Importância do Tratamento dos Poluentes Emitidos

Atualmente há inúmeros meios químicos e físicos para o tratamento desta fumaça que é altamente poluente, sendo meios de custo elevado, principalmente quando se visa o tratamento do CO<sub>2</sub> produzido. No entanto, a natureza há muito já conhece o sistema mais eficaz de tratamento deste gás: a fotossíntese. A fotossíntese é o processo original criado para fixar o carbono na atmosfera (OLAIZOLA et al.). Neste contexto, como organismos capazes de realizar a fotossíntese e fixar carbono, podem ser citadas as microalgas, presentes em ambientes aquáticos naturais e que vêm sendo produzidas com fins industriais e comerciais ao longo do tempo.

### 2.2.2 Tecnologias para Tratamento de Poluentes Atmosféricos

Conforme apresentado por Mikami (2011 apud WU et al., 2006), além de outras técnicas ainda emergentes no mercado, as principais tecnologias disponíveis atualmente para o tratamento de gases, são os

biofiltros, os biolavadores, a adsorção, os lavadores de gases, a oxidação e a condensação. Cada uma das tecnologias existentes apresentam vantagens e desvantagens tanto econômicas quanto para o meio ambiente, de forma que para a escolha entre elas devem ser consideradas às necessidades do sistema, os custos, as características químicas dos contaminantes, as concentrações e características físicas operacionais como temperatura, vazão e pressão dos gases.

Uma descrição de algumas tecnologias utilizadas para o tratamento de emissões atmosféricas foi citada por Mikami (2011) e são apresentadas abaixo:

- **Biofiltração:** técnica utilizada para controle de poluentes atmosféricos, tanto COVs quanto CIVs, que ocorre a temperatura ambiente e que vem sendo bastante estudada, pois comparada com outras técnicas, tem um custo operacional menor e é mais simples de ser empregada (PARK e JUNG, 2006). De acordo Mikami (2011 apud Miao, Zheng e Guo 2005) a aplicação de biofiltros em restaurantes foi realizada com uma eficiência de remoção de 95% para fumaça e odores de óleo em uma concentração de  $120 \text{ mg/m}^3$  (miligrama/metro cúbico) e um tempo de residência no biofiltro de 18 segundos.
- **Biolavadores:** transferem os contaminantes para o meio líquido a partir da contra-lavagem, de forma que o líquido contendo os contaminantes é encaminhado para bioreatores na presença de microrganismos em solução aquosa de nutrientes e com condições favoráveis ao crescimento microbiano de organismos degradadores de contaminantes (KNNES; VEIGA, 2001).
- **Lavadores de gases:** essa técnica envolve, basicamente, uma contra lavagem para que o gás emitido entre em contato com o líquido e consiga tanto absorver partículas solúveis, quanto remover partículas corrosivas, ou explosivas. Dentre os tipos de lavadores de gases, os quais se diferem por seu princípio de funcionamento, destacam-se: o lavador Venturi (um dos

mais utilizados), o lavador Ciclônico, o lavador de filtro úmido, de bandeja e pratos, de leite empacotado, de leite móvel e spray (PILAT, NOLL, 2000).

- **Condensação:** os condensadores trabalham liquefazendo os contaminantes com baixas temperaturas, ou seja, removem os contaminantes da fase gasosa e os passam para fase líquida. Neste contexto, torna-se efetivo para compostos que possuam alto ponto de ebulição, ficando restrito a alguns grupos de compostos. A condensação não é considerada das mais eficientes (HUNTER e OYAMA, 2000).
- **Adsorção:** ocorre quando a fase gás de contaminante acopla-se a um adsorvente sólido. É um método bastante utilizado quando: o poluente pode ter valor se recuperado; a concentração deste é pequena; para gases radioativos por não poder ser oxidado; e ou, quando o ar contaminado encontra-se em espaço confinado. O material adsorvente pode ser tanto o carvão ativado quanto qualquer outro que possua alta porosidade e retenha os contaminantes através de forças intermoleculares. A adsorção apresenta como vantagem a possibilidade de recuperar o poluente e reutilizá-lo, o que a torna importante quando se trata de um solvente com alto valor de mercado. A eficiência de remoção desta técnica pode chegar a 99% (MARTINS, 2004).
- **Oxidação:** A luz ultravioleta pode ser utilizada nos processos de oxidação para degradar os compostos orgânicos, reproduzindo o mesmo processo que ocorre na atmosfera. O sistema de oxidação por ultravioleta possui um filtro para remoção de partículas e logo após o gás é encaminhado a uma câmara na qual a reação ocorrerá. Como processos de oxidação também existem a tecnologia por oxidação fotocatalítica, que possui como principal diferença possuir um catalisador para a reação, e a oxidação catalítica com ozônio, a qual vem sendo melhorada e comercializada para altas ou

baixas concentrações de COVs, e para grandes vazões de gás (HUNTER e OYAMA, 2000).

## 2.3 A AUTOMAÇÃO

A automação é um conceito e um conjunto de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar com eficiência ótima pelo uso de informações recebidas do meio sobre o qual atuam. MARTINS (2012).

Na automação se reúnem 3 grandes áreas da engenharia:

- A engenharia mecânica: através das máquinas e acionamentos mecânicos que possibilitam transformar matérias primas em produtos.
- A engenharia elétrica: através das instalações elétricas, motores e seus acionamentos e a eletrônica que é indispensável para o controle e automação dos sistemas produtivos.
- A informática: com a programação dos equipamentos eletrônicos, as arquiteturas de bancos de dados e as redes de comunicação, que permitem o funcionamento dos equipamentos e a armazenagem e uso dos dados do processo.

### 2.3.1 Definição de Automação

Segundo CASTRUCCI e MORAES (2007), a palavra *automation* foi inventada pelo *marketing* da indústria de equipamentos na década de 1960, que buscava enfatizar a participação do computador no controle automático industrial.

Ainda de acordo com CASTRUCCI e MORAES (2007), entende-se por automação qualquer sistema, apoiado em computadores, que substitua o trabalho humano e que vise soluções rápidas e econômicas para atingir complexos objetivos das indústrias e dos serviços.



De acordo com este conceito a automação é a substituição do trabalho humano por equipamentos dotados de capacidade de realizar a mesma tarefa, de modo contínuo e com alto grau de confiabilidade.

Do ponto de vista industrial, segundo SANTOS e SILVEIRA (1998, pag. 23), a automação é um conceito de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar com uma eficiência ótima pelo uso de informações recebidas do meio sobre o qual atuam. Com base nas informações, o sistema calcula a ação corretiva mais apropriada para a execução da ação. Essa relação de entrada/saída serve para corrigir eventuais valores na saída que estejam fora dos valores desejados.

### **2.3.2 Finalidade da Automação**

As principais finalidades da automação consistem em produzir mais produtos, em menor tempo e com maior qualidade, com a menor intervenção humana possível. Também pode-se através dela otimizar os processos, fazendo com que os equipamentos utilizados neste obtenham o melhor rendimento.

De acordo com CASTRUCCI e MORAES (2007) “a introdução da automação foi muito importante para os processos produtivos porque minimizou a variabilidade de resultados que era muito alta com a interferência do homem. Agora temos repetição de processos com qualidade assegurada.”

A facilidade em realizar alterações nos sistemas é uma das maiores finalidades da automação, pode-se dizer que esta necessidade da indústria foi o fator determinante para investir-se em equipamentos e sistemas que cada dia flexibilizasse mais a indústria, causando menores tempos de máquina parada e podendo realizar alterações sem a necessidade de efetuar paradas na aplicação (COSTA,2011).

Os autores CASTRUCCI e MORAES (2007) lembram que a necessidade de alterações dos primeiros sistemas de controles, que

eram baseados nas lógicas de relés, consumiam dias e dependiam de muitos profissionais para realizar a tarefa. Quando a *General Motors* instalou em suas indústrias em 1969 o primeiro CLP, desenvolvido para suportar o ambiente fabril, foi um sucesso quase que imediato.

A automação na indústria através dos CLPs, segundo CASTRUCCI e MORAES (2007), permitiu reduzir os custos dos materiais, de mão-de-obra, de instalação e de localização de falhas, reduzindo também as necessidades de fiação e seus erros associados.

### **2.3.3 Os Componentes da Automação**

Segundo FRANCHI e CAMARGO (2009), toda automação, seja de grande ou pequena complexidade, pode ser dividida em três partes com funções bem definidas: Sensores, Atuadores e Controladores.

A estas três partes se integram as Interfaces Homem Máquina.

#### **2.3.3.1 Sensores**

SANTOS e SILVEIRA (1998) definem sensor como sendo um dispositivo sensível a um fenômeno físico, tais como: temperatura, umidade, luz, pressão, entre outros. Por meio desta sensibilidade, os sensores enviam um sinal, que pode ser um simples abrir e fechar de contatos, para os dispositivos de medição e controle.

Segundo BOLTON (2010), os sensores são compostos de três elementos, sendo eles:

- Um elemento de detecção chamado de transdutor, que produz um sinal relacionado com a quantidade que está sendo detectada;
- Um elemento chamado condicionador de sinais, que converte o sinal do transdutor numa forma na qual possa ser indicado. Estes sinais podem ser mecânicos ou elétricos;

- É um elemento chamado mostrador ou elemento de registro, que possibilita que o sinal seja lido ou utilizado na aplicação.

Nem sempre os sensores possuem o elemento mostrador, pois o próprio controlador a que o sensor está ligado faz este papel, pois na maioria dos casos não é necessária a exibição dos valores ou estado dos sensores “*in loco*”.



Figura 4 - Sensores de temperatura tipo PT100 com e sem mostrador local

Fonte: novus.com.br

### 2.3.3.2 Atuadores

De acordo com FRANCHI e CAMARGO (2009), sua função é converter o sinal elétrico, oriundo do controlador, em uma condição física, normalmente ligando ou desligando algum elemento da aplicação.

Os atuadores, segundo SANTOS e SILVEIRA (1998), podem ser magnéticos, hidráulicos, pneumáticos, elétricos ou de acionamento misto. Como exemplo, temos: válvulas e cilindros pneumáticos, válvulas proporcionais, motores, aquecedores, entre outros.



Figura 5 – Atuadores do tipo válvulas.

Fonte: www.danfoss.com

### 2.3.3.3 Controladores

Os controladores são dispositivos que, de acordo com SANTOS e SILVEIRA (1998), tem três características básicas:

- Devem executar uma rotina cíclica de operação quando em funcionamento;
- A forma básica de programação deve ser realizada a partir de uma linguagem oriunda dos diagramas elétricos dos relés;
- Devem ser projetados para operação em ambiente industrial.

Os controladores aplicados na indústria são chamados de CLP (Controlador Lógico Programável), e são definidos pela IEC (*International Electrotechnical Commission*) como: “Sistema eletrônico operando digitalmente, projetado para uso em um ambiente industrial, que usa uma memória programável para a armazenagem interna de instruções orientadas para o usuário para implementar funções específicas, tais como lógica, sequencial, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos de máquinas ou processos. O controlador programável e seus periféricos associados são projetados para serem facilmente integráveis em um sistema de controle industrial e facilmente usados em todas as suas funções previstas.” (FRANCHI; CAMARGO, 2009).

A figura 6 mostra alguns modelos de CLPs utilizados no mercado, da esquerda para direita, o Clic02 da WEG para pequenas aplicações, e os CLPs industriais como o S7 da SIEMENS e o DVP da Delta, o qual é utilizado neste trabalho.



Figura 6 – Modelos de Controladores Lógico Programáveis

Fonte: Site dos fabricantes

De acordo com SANTOS e SILVEIRA (1998), o CLP verifica os estados de suas entradas, e utiliza-se de um programa de controle para calcular os estados de suas saídas. Ou seja, dependendo do sinal que é enviado pelos sensores, o controlador aciona os atuadores pra corrigir os parâmetros de configuração do processo/aplicação, mantendo-o dentro dos patamares desejáveis, conforme ilustrado no diagrama de blocos da figura 7.



Figura 7 - Diagrama de blocos do funcionamento da automação

Fonte: Autoria Própria

#### 2.3.3.4 Interfaces Homem Máquina – IHM

Uma grande vantagem dos sistemas automatizados é a capacidade de parametrização rápida, onde o processo pode ser readequado rapidamente para cada tipo de produto produzido. Para atender essa necessidade de alterações dos parâmetros que se tornava cada vez mais complexa, foi desenvolvida a IHM. Se os controladores eliminaram praticamente os acionamentos a relés, as IHMs eliminaram

dos painéis os botões e os mostradores de dados dos sensores do processo, centralizando todos em uma única tela. Com as IHMs foi possível um grande salto na flexibilização da automação, pois através da IHM é possível realizar parametrizações sem a necessidade de reprogramar o controlador.

A visualização do *status* do processo, com exibição dos valores dos sensores, recursos gráficos de animação, efeitos sonoros que possibilitam fazer com que a máquina “fale” ao operador o que está acontecendo, são algumas das inúmeras vantagens que as IHMs trouxeram para os processos automatizados. (COSTA, 2011)



Figura 8 - Modelos de Interface Homem Máquina

Fonte: [www.delta.com.tw](http://www.delta.com.tw)

## 2.4 CRITÉRIOS PARA IMPLANTAÇÃO DA AUTOMAÇÃO

Ao inserir em um sistema a automação, faz-se necessário o estudo e conhecimento detalhado do mesmo, de forma a compreender seu funcionamento, as variáveis que devem ser controladas, os tipos de acionamentos necessários e o que se deseja obter deste sistema como produto final. Segundo COSTA (2011, pág. 25), antes de especificar qualquer equipamento é necessário ter em mãos 2 tipos de dados primordiais:

- Os dados da instalação.
- Os dados da aplicação

### 2.4.1 Dados da Instalação

A instalação é o local onde que receberá a automação, dela é necessário conhecer:

- As restrições do local da instalação
- As tensões disponíveis
- A frequência da rede elétrica local
- As distâncias entre os equipamentos que serão automatizados.

#### 2.4.1.1 Restrições do Local da Instalação

A avaliação e o conhecimento do tipo de ambiente e as condições a que o mesmo é exposto são de extrema importância para a etapa de especificação, já que as condições do ambiente afetam diretamente no custo dos equipamentos que deverão ser instalados, pois deverão suportar estas condições. Segundo COSTA (2011, pág. 26) quanto maior o grau de risco da instalação, maior é o custo dos mesmos. Quando instalado em áreas classificadas, o grau de risco deve ser avaliado para que os equipamentos obedeçam à norma requerida para tal ambiente.

Devem-se observar as condições do ambiente, tais como: temperatura, umidade, poeiras, gases e líquidos inflamáveis, radiação, entre outros.

#### 2.4.1.2 Tensões Disponíveis

As tensões disponíveis na instalação devem ser levadas em conta na hora de especificar os equipamentos, pois elas vão limitar a escolha de motores, equipamentos, sensores e instrumentos da aplicação. A utilização de tensões fora da faixa disponível na instalação, encarece o projeto devido a necessidade de utilização de outras fontes ou uso de

transformadores para atender os equipamentos, gerando custos desnecessários COSTA (2011, pág. 28).

#### 2.4.1.3 Frequência da Rede Elétrica

Segundo COSTA (2011, pág. 28), isso afeta principalmente na especificação dos motores. A frequência deve ser observada principalmente quando se utiliza produtos importados, que venham de seus países de origem com frequência diferente da frequência da instalação, o que pode ocasionar erros, mau funcionamento e até mesmo acidentes.

#### 2.4.1.4 Distância entre os Equipamentos

De acordo com Costa (2011, pág. 29), é de extrema importância conhecer as distâncias envolvidas entre os componentes da instalação, pois elas são fatores limitantes no dimensionamento dos cabos de potencia, comando e controle como também na definição das redes de comunicação e os tipos de arquitetura de controle e monitoração que poderão ser utilizados na aplicação. A comunicação será apresentada em capítulo dedicado.

### **2.4.2 Dados da Aplicação**

Estes são os dados provenientes diretamente dos operadores, projetistas, engenheiros, técnicos e especialistas que trabalham com o processo, pois estes que tem a informação e conhecimento necessário do processo. Como tratado por COSTA (2011, pág. 38), estas informações são de extrema importância para se alcançar o máximo de desempenho do processo, sendo necessário conhecer:

- Precisoões requeridas da aplicação;



- Desempenho esperado da aplicação e
- Instrumentos e sensores existentes na aplicação.

#### 2.4.2.1 Precisão Requeridas da Aplicação

COSTA (2011, pág. 38) observa que a precisão se trata especialmente na questão da especificação dos instrumentos analógicos da aplicação. Quanto maior a precisão, mais caro é o equipamento. Por isso é importante que seja levantada a precisão necessária da aplicação, de modo a especificar o equipamento com melhor custo/benefício disponível, evitando custos desnecessários com equipamentos superdimensionados ou com a substituição de equipamentos que não forneciam a precisão necessária.

#### 2.4.2.2 Desempenho Esperado da Aplicação

De acordo com COSTA (2011, pág. 39), quanto mais complexa é a aplicação, maior deverá ser a velocidade de processamento da CPU do CLP. Atualmente até mesmo os CLPs de pequeno porte possuem excelente capacidade de processamento. Cabe ao profissional que irá fazer a especificação dos componentes avaliar quem melhor atende as necessidades da aplicação, tanto as atuais como também as futuras, prevendo que o equipamento possa suportar possíveis melhorias da instalação.

#### 2.4.2.3 Instrumentos e Sensores da Aplicação

COSTA (2011, pág.39) discorre que em toda aplicação, o nível de automação que pode ser obtido depende diretamente do nível de instrumentação disponível e que esta deve ser especificada respeitando as peculiaridades de cada instalação. Deve-se fazer um

levantamento detalhado de todos os tipos de sensores e instrumentos que serão necessários para automação, pois estes que determinam ao CLP as ações que deverão ser tomadas para se obter da aplicação o resultado desejado.

## 2.5 PROGRAMAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE AUTOMAÇÃO

Até o início de 1990, segundo CAPELLI (2008), não havia nenhuma técnica padrão de programação de CLPs, na realidade a única coisa em comum que os vários fabricantes tinham era o fato de todos utilizarem linguagens diferentes para programação de seus produtos. Em meados de 1990, a *International Electrotechnical Commission (IEC)* iniciou trabalhos para padronizar estas linguagens de programação, criando a norma IEC 61131, que cobre o ciclo de vida completo dos CLPs, e segundo FRANCHI e CAMARGO (2009), é considerada um marco histórico para os CLPs.

A IEC 61131 – 3, trata especificamente das linguagens de programação, e nela são definidas as 5 linguagens standart, sendo duas textuais e três gráficas, conforme exposto na tabela 01.

Texto Estruturado (ST)	Textuais
Lista de Instruções (IL)	
Diagrama de Blocos e Funções (FDB)	Gráficas
Linguagem <i>Ladder</i>	
Sequenciamento Gráfico de Funções (SFC ou Grafcet)	

Tabela 1 - Linguagens de Programação da IEC 61131

Fonte: FRANCHI e CAMARGO (2009)

A primeira linguagem a ser utilizada pelos fabricantes é a *Ladder*. Por ser uma linguagem gráfica, que utiliza-se de símbolos similares aos de contatos e bobinas dos diagramas elétricos da lógica de relés, isso segundo FRANCHI e CAMARGO (2009), foi fundamental para que ela

obtivesse aceitação dos técnicos e engenheiros da época e evitaria uma mudança de paradigma muito brusca no modo como era feita a automação.

### 2.5.1 Linguagem *Ladder*

O nome *Ladder*, segundo GEORGINI (2000), deve-se a representação da linguagem se parecer com uma escada (do inglês *ladder*), na qual duas barras verticais paralelas são interligadas pela lógica de controle associada a uma bobina, formando os degraus da escada (do inglês *rung*), conforme ilustra a figura 9.

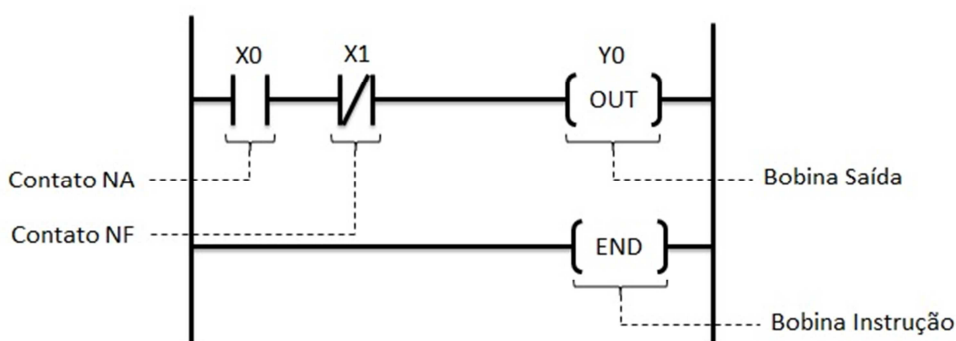


Figura 9 - Exemplo de diagrama Ladder

Fonte: GEORGINI (2000)

Cada barra vertical representa um polo, sendo o da esquerda o positivo e o da direita o negativo, e de acordo com FRANCHI e CAMARGO (2009), a ideia por trás do *ladder* é representar graficamente um fluxo de “eletricidade virtual” entre as duas barras verticais energizadas. Essa “eletricidade virtual” flui sempre do polo positivo em direção ao negativo, e de cima para baixo, descendo a escada. Cada leitura completa do diagrama *ladder* pelo CLP é denominado *scan*.

Ainda segundo GEORGINI (2000), apesar de ter sido a primeira linguagem destinada especificamente a programação de CLPs, ela mantém-se ainda como a mais utilizada, estando presente em praticamente todos os CLPs disponíveis no mercado. Além disso

evoluiu para além de simples contatos e bobinas, ganhou contatos de detecção de borda de subida/descida, contatos de comparação, temporizadores, contadores, blocos de processamento de operações lógicas, aritméticas e de manipulação de dados, controle total do fluxo de execução do programa entre outras funções.

FRANCHI e CAMARGO (2009) citam que os diagramas *Ladder* são fáceis de usar e implementar, além de constituir uma linguagem de programação poderosa, com as seguintes vantagens:

- Possibilidade de rápida adaptação do corpo técnico (devido a semelhança com diagramas elétricos da lógica a relés);
- Possibilidade do aproveitamento do raciocínio lógico na elaboração de um comando feito a relés;
- Fácil recomposição do diagrama original a partir do programa de aplicação;
- Fácil visualização dos estados das variáveis sobre o diagrama *Ladder*, permitindo uma rápida depuração e manutenção do software;
- Símbolos padronizados e mundialmente aceitos por fabricantes e usuários;
- Técnica de programação mais difundida e aceita industrialmente.

Porem cabe ressaltar que também existem desvantagens no uso do *Ladder* na programação de CLPs, conforme observado por FRANCHI e CAMARGO (2009):

- Dificuldade na utilização em programas extensos ou com lógicas mais complexas;
- Programadores não familiarizados com a lógica a relés tendem a ter dificuldades com essa linguagem;
- Edição mais lenta, quando comparada a outras linguagens, principalmente nos programas maiores.

## 2.5.2 Comunicação Aplicada a Automação

De acordo com COSTA (2011, pág.58), a necessidade de integração de instrumentos e equipamentos de controle gerou uma demanda por um sistema de comunicação que permitisse um maior aproveitamento dos recursos dos mesmos. Para isso seria necessária a criação de uma rede de comunicação digital, pois os sistemas de transmissão de sinais analógicos tem grande limitação, principalmente para grandes distancias e transmissão de maiores quantidades e variedades de dados. Com isso, surgiram as redes *Fieldbus*, que segundo COSTA (2011, pág.56), trouxeram a tecnologia de comunicação puramente digital para os instrumentos de campo, utilizando-se de muitos dos conceitos das redes de informática.

Com a utilização da tecnologia digital, COSTA (2011, pág.56) observa que os instrumentos passam a fornecer um maior numero de informações que não podiam ser obtidas através de sinais analógicos como 4-20 mA, 0-10 V ou mesmo através da comunicação HART.

A principal diferença entre as redes de informática e as redes *Fieldbus*, segundo COSTA (2011, pág.58), é que a primeira busca soluções de baixo custo enquanto as redes *Fieldbus* são projetadas para trabalhar em ambientes hostis, característicos de áreas industriais, por isso usam cabos, conectores, *switches* e outros equipamentos desenvolvidos especialmente para estes ambientes, que por consequência tem seu custo elevado.

O surgimento das redes *Fieldbus* permitiu a integração de diversos tipos de equipamentos de diferentes fabricantes, além de permitir novas arquiteturas de sistemas.

De acordo com COSTA (2011, pág.56), existem mais de 50 tipos de redes *Fieldbus* no mercado, umas já obsoletas. Dentre as redes disponíveis, as que são utilizadas no Brasil são: AS-i, CAN, ControlNet, DeviceNet, Ethernet/IP, Interbus, Fieldbus Foundation, Hart, Modbus, Profibus e Sercos.

Não cabe a esta pesquisa discorrer sobre cada tipo de rede utilizada, apenas será apresentada brevemente a rede Ethernet/IP e a Modbus, as quais foram aplicadas neste trabalho.

#### 2.5.2.1 *Ethernet/IP*

O *Ethernet Industrial Protocol (Ethernet/IP)*, é um padrão de rede industrial aberto que suporta mensagem em tempo real e troca de mensagens. Utiliza-se do mesmo *chip* de comunicação da *Ethernet* padrão, amplamente utilizada em escritórios, comércios, residências, e também o mesmo meio físico (cabos, conectores, dispositivos de rede).

A diferença da *Ethernet/IP* é que os equipamentos e materiais utilizados no meio físico devem resistir ao ambiente industrial, como poeira, vibração, umidade e temperatura, e, além disso, devem assegurar a transmissão dos dados, sem perder pacotes, por isso devem trabalhar com canais diferentes para transmissão e recepção dos dados, eliminando o risco de colisão e perda de pacotes. Essas características devem ser observadas principalmente quando se trata de processos em tempo real, onde um atraso de do sinal de controle pode gerar um erro muito grande na saída (LUGLI; SANTOS; FRANCO, 2009).

Na questão de treinamento de mão de obra para configuração da rede *Ethernet* encontra-se outra vantagem, pois são poucas as alterações entre a *Ethernet* padrão e a *Ethernet/IP*, o que permite a rápida adesão a este tipo de protocolo de comunicação. Outro fator é a velocidade de transmissão dos dados, que podem chegar atualmente a taxa de 100 Mbps, velocidade extremamente superior a qualquer outro modelo de rede de comunicação existente na indústria atual(LUGLI; SANTOS; FRANCO, 2009).

Ainda pode-se citar mais um ponto positivo da *Ethernet* como protocolo de rede: os dados estão prontos para acesso via *internet*, gerando redução dos custos com equipamentos intermediários com a função de converter os dados para o padrão *Ethernet*.

### 2.5.2.2 Modbus RTU

Em 1979, a MODICON publicou o padrão Modbus como uma interface de comunicação em rede ponto-multiponto, baseado numa arquitetura Mestre/Escravo. Nesta arquitetura, um dispositivo, denominado mestre, envia mensagens (dataframes) para um ou mais escravos da rede. Essas mensagens podem conter solicitações de leitura de dados e comandos com dados de escrita. Ao receber esses comandos, o escravo responderá com mensagens contendo dados solicitados, confirmações de que os dados foram escritos ou ainda, códigos de erro.

Os dispositivos escravos Modbus disponibilizam seus dados em pontos de memória que serão lidos/escritos pelos comandos do protocolo. Estes comandos são direcionados para a leitura/escrita de bits e palavras. Assim, de acordo com a necessidade, o mestre será programado para enviar comandos, em conjunto com os parâmetros necessários para efetuar a leitura ou escrita de valores na memória do dispositivo. (LUGLI; SANTOS; FRANCO, 2009).

## 2.6 DADOS DO PROCESSO

Quando se trata de pesquisa e desenvolvimento, uma das coisas mais importantes é a medição das grandezas envolvidas. ALBERTAZZI (2008) mostra a importância da medição citando uma afirmação de 1883 de Lord Kelvin, que diz: “O conhecimento amplo e satisfatório sobre um processo ou um fenômeno somente existirá quando for possível medi-lo e expressá-lo por meio de números”.

A medição das grandezas torna possível trabalhar com três conceitos essenciais da pesquisa: monitoramento, controle e investigação.

### 2.6.1 Monitoramento

O monitoramento, de acordo com ALBERTAZZI (2008), consiste em observar ou registrar passivamente o valor de uma grandeza. Através dos dados extraídos pelo monitoramento pode-se observar seu valor em determinado momento, sua variação em um espaço de tempo entre outras análises possíveis.

### 2.6.2 Controle

ALBERTAZZI (2008) define que o controle é sempre de natureza ativa, tendo objetivo de manter uma ou mais grandezas de um processo dentro dos limites definidos. É uma aplicação amplamente utilizada na automação, pois confere ao processo a habilidade de tomar decisões para correção dos desvios feitos na medição. O processo de controle pode ser exemplificado como na figura 10.

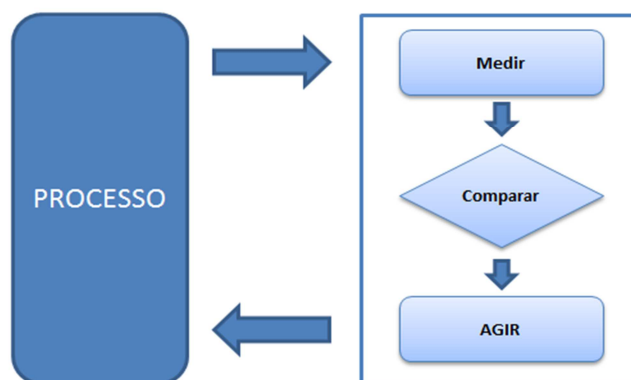


Figura 10 - Processo de controle

Fonte: ALBERTAZZI (2008)

### 2.6.3 Investigação

Como apresentado por ALBERTAZZI (2008), a investigação requer uma postura proativa. A investigação consiste na correta interpretação dos dados obtidos através das medições realizadas. É na



investigação que mais se exige dos sistemas de medição, pois as conclusões tiradas a partir da análise dos dados dependem integralmente da confiabilidade dos valores obtidos pela medição.

#### **2.6.4 Registro dos Valores Medidos**

O andamento da pesquisa depende da análise dos dados obtidos através dos valores medidos no processo. Para tanto, esses dados precisam ser armazenados de forma confiável e disponibilizados aos pesquisadores a todo tempo, de forma que possam consulta-los e emitir relatórios para análise. Com a automação, pode-se obter estes dados de duas formas: utilizando a memória da IHM ou através de um equipamento dedicado ao armazenamento de valores de medição, conhecidos como *data logger*. Estes equipamentos são apresentados nos capítulos 3.4.4 e 3.4.5 deste trabalho.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo será apresentado o processo de tratamento, desde antes do mesmo ser instalado até a instalação da unidade piloto de tratamento, abordando os equipamentos e programas utilizados neste projeto, contendo a especificação e detalhamento de cada etapa.

#### 3.1 IDENTIFICAÇÃO DO SISTEMA ANTERIOR A AUTOMAÇÃO

A churrasqueira conta com uma churrasqueira a carvão com 6 metros de comprimento, dividida em dois assadores com queimador central de carvão, conforme mostra a figura 11.

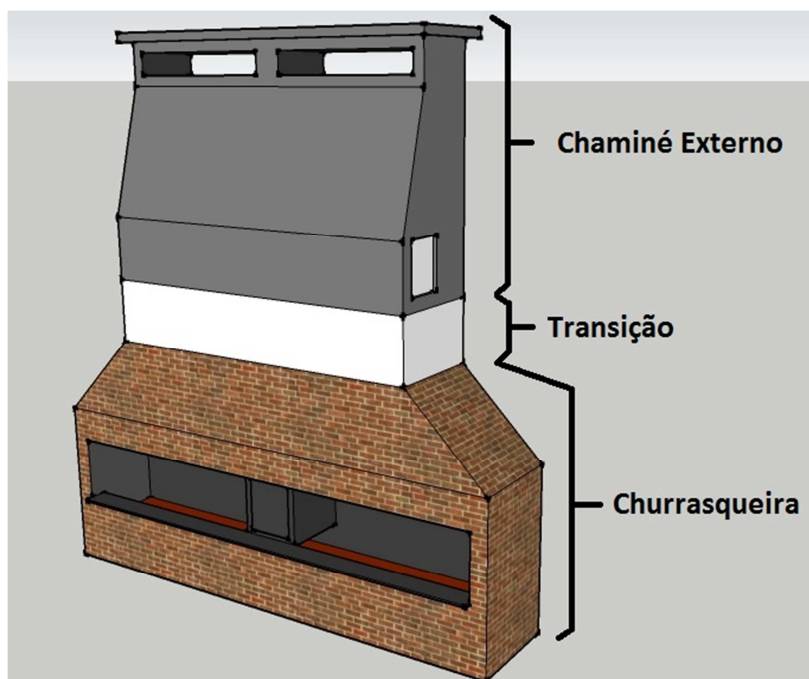


Figura 11 - Modelagem 3D da churrasqueira e chaminé do projeto

Fonte: Autoria Própria

Cada assador possui uma saída independente, ligada no chaminé externo a um lavador de gases tipo venturi, figura 12, que faz a remoção do particulado da fumaça, lavando-a com um spray de água

com 5000 libras de pressão, o que mantém as emissões de particulado dentro dos limites da legislação vigente.

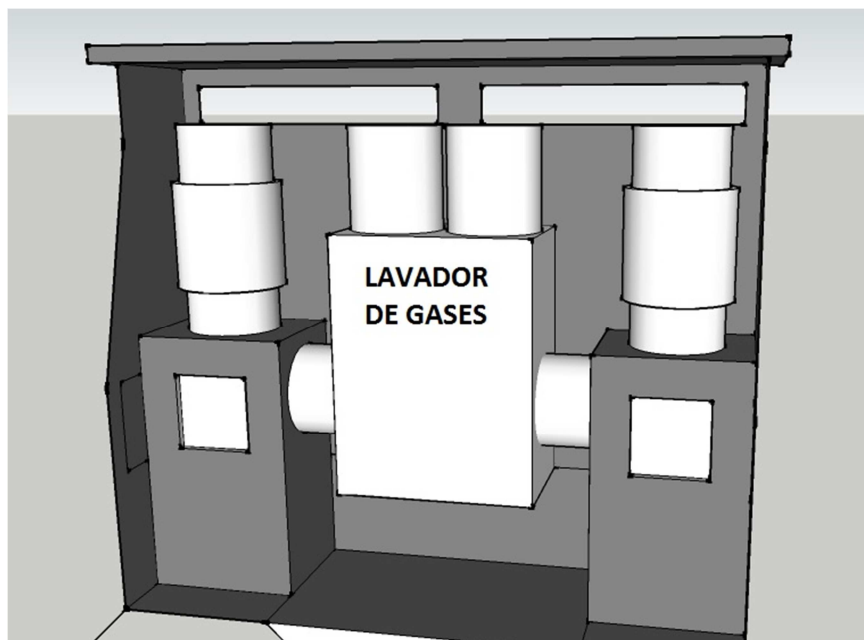


Figura 12 - Modelagem 3D - lavador de gases da chaminé

Fonte: Autoria Própria

Apesar da emissão de particulado estar dentro dos limites estabelecidos pela legislação, ainda restava um problema a ser resolvido: a emissão do odor de churrasco.

### 3.2 O SISTEMA PROPOSTO

Concluída a fase laboratorial da pesquisa, parte-se para a aplicação da mesma em campo, para o chamado projeto piloto, que de acordo com Jung (2004) é um modelo em escala reduzida, representando o que seria o sistema físico real, viabilizando a simulação, a análise e a otimização do processo.

Nesta etapa da pesquisa entra a automação, que possibilitará aos pesquisadores obter dados sobre o funcionamento do sistema nas condições reais do ambiente, além de permitir a simulação de variadas condições e parâmetros de forma a verificar os diferentes resultados

que podem ser obtidos. Segundo Jung (2004), os ensaios de simulação proporcionam a melhoria dos sistemas e estruturas dos modelos científicos, pois vários problemas que são detectados durante o experimento possibilitam a implementação simultânea ou posterior de modificações corretivas no modelo, anteriormente à construção de um protótipo ou do produto final.

### 3.2.1 Fotobiorreatores de placa plana contendo microalgas para o tratamento de odor de fumaça de churrascaria

O sistema biológico para o tratamento da fumaça proposto e implantado no projeto piloto conta com a utilização de dois fotobiorreatores de placas planas (tipo *flat-plate*) montados em uma estrutura de aço carbono galvanizado com paredes frontal e posterior formadas por placas de vidro temperado 10 mm que permitem a passagem de luz – apresentados na figura 13. A luz natural é aproveitada durante todo o dia, e no período noturno iluminação artificial é utilizada desde o ocaso até à 1h.



Figura 13 - Fotobiorreatores instalados na Devon's Grill.

Fonte: Autoria Própria

A fumaça gerada no processo é captada e enviada aos fotobiorreatores por meio do uso de um compressor radial com capacidade de operação de 1200 m<sup>3</sup>.hora (figura 14) instalado na

Devon's Grill. Para a condução da fumaça aos fotobiorreatores, foi necessário o desenvolvimento e a instalação de um conjunto de tubulações em aço (para suportar a alta temperatura), de modo que atualmente 35% do volume de fumaça gerada na atividade esta sendo tratada pelo sistema em operação.

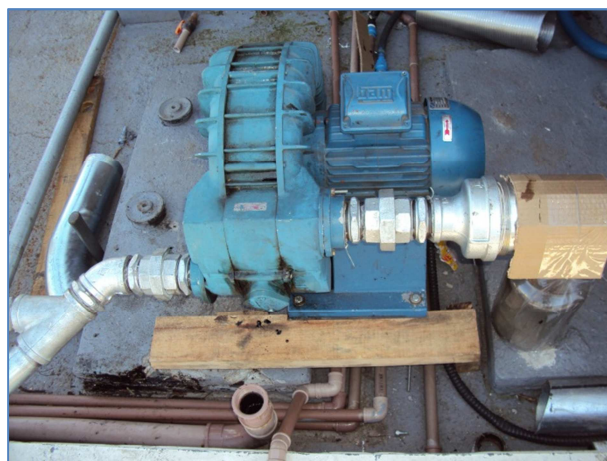


Figura 14 - Motor soprador (compressor radial)

Fonte: Autoria Própria

Os gases emitidos pela chaminé da churrasqueira são injetados nos fotobiorreatores, conforme ilustrado na figura 15, que contém o meio de cultivo com as microalgas, por meio de um sistema fechado, com controle de vazão. Para injeção dos gases é necessária a transformação do mesmo em microbolhas, condição relevante para que as microalgas do meio de cultivo “alimentem-se” dos mesmos.

Para manter as microalgas vivas, é fundamental o controle da vazão dos gases nos fotobiorreatores, uma vez que a vazão excessiva causa o rompimento das células e consequente morte das mesmas.

Além da vazão, a temperatura é outra variável que precisa ser mantida dentro de patamares estabelecidos durante a pesquisa. A brusca variação ou temperatura fora dos limites podem causar desde diminuição do metabolismo, e consequente diminuição da eficiência do sistema de tratamento, até mesmo a morte das microalgas pelo excesso ou baixas temperaturas por períodos prolongados.

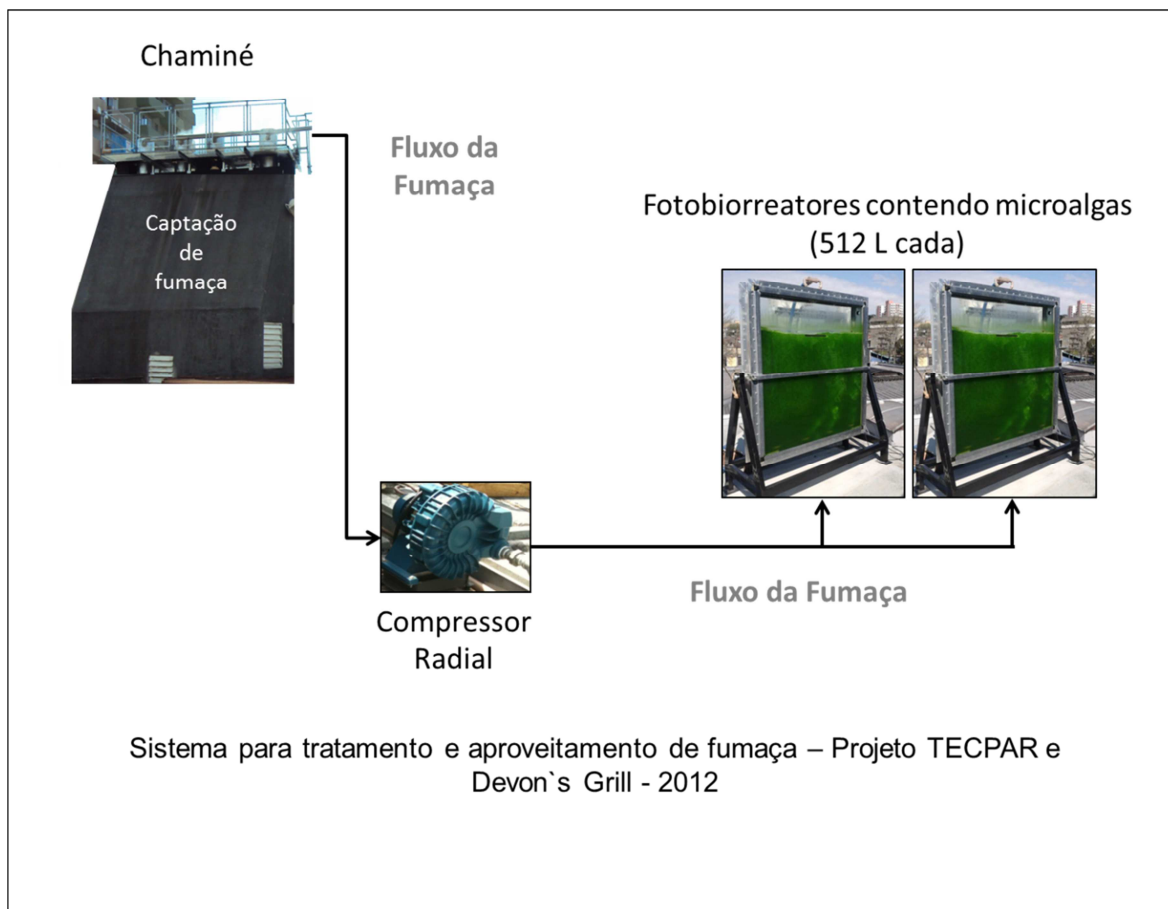


Figura 15 - Esquema e etapas do Sistema de tratamento

Fonte: Autoria Própria

Outra variável que indica a saúde do meio de cultivo é o pH, que deve ser monitorado uma vez ao dia para que caso fique fora dos parâmetros, os pesquisadores possam adotar medidas para correção ou renovação do meio de cultivo.

Para que a unidade piloto funcionasse dentro dos parâmetros estabelecidos durante a pesquisa inicial, chegou-se a conclusão que o sistema deveria ser automatizado para tornar o mesmo viável, pois se tornaria muito oneroso, para não se dizer inviável, o acompanhamento de tantas variáveis através de mão de obra técnica especializada durante todo o período de funcionamento do sistema.

Resumidamente pode-se dizer que a automação garantiria além da viabilidade econômica, a confiabilidade nos dados, controle autômato e o armazenamento do máximo de informações possíveis

para que os pesquisadores aprimorassem o processo e conseguissem desenvolver um produto comercialmente viável.

### 3.3 AUTOMAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

A execução de todas as tarefas e o controle de todas as variáveis necessárias para o funcionamento da unidade piloto de tratamento só é possível com o uso de um Controlador Lógico Programável – CLP, que tem a capacidade de ser programado para manter os parâmetros necessários para o funcionamento do sistema.

Além do CLP, outro instrumento importante é o *Data Logger*, que é um dispositivo que armazena as informações dos sensores do sistema e disponibiliza as mesmas on-line, via *internet*, para os pesquisadores através de uma interface amigável em nível de usuário, facilitando a obtenção dos dados para pesquisa e reduzindo a complexidade de programação do CLP para comunicação, geração de tabelas e exportação de dados.

Para realizar o tratamento é necessário injetar os gases emitidos pela churrascaria nos fotobiorreatores. Isso é feito através de um compressor radial que tem sua vazão controlada de acordo com a temperatura dos gases emitidos na chaminé, sendo controlado pelo CLP através de um inversor de frequência. Esta injeção de gases nos fotobiorreatores chama-se aeração, que é essencial para o cultivo das microalgas e também para manter o meio de cultivo com os sais bem homogêneos.

Para que o tratamento seja efetivo, a aeração deve ser feita através de dispositivos que transformem os gases em microbolhas, denominados difusores de gases planos, tipo prato, e estão instalados no fundo dos fotobiorreatores. A aeração deve ser controlada para que seja mantida dentro dos padrões estabelecidos na pesquisa, para não ocasionar problemas no sistema de tratamento ou não tratamento efetivo dos gases.

Como o sistema de tratamento contém organismos vivos que dependem de uma temperatura ideal para sobrevivência e principalmente para realizarem o processo de tratamento da fumaça de forma eficiente, a temperatura do meio de cultivo dos fotobiorreatores deve ser mantida dentro dos padrões adequados.

A cada 24 horas o sistema faz uma análise de PH de cada fotobiorreator. Para isso foi construído um dispositivo, detalhado no capítulo 3.3.3, que é comandado pelo CLP, o qual recebe as amostras de cada tanque e então o CLP grava na memória os valores de PH e disponibiliza a informação do valor medido para o *data logger* do sistema, que armazena a informação e disponibiliza a mesma on-line para os pesquisadores.

### 3.3.1 Controle de Vazão de Fumaça

O controle da vazão de fumaça é um controle por inferência, através do controle velocidade do motor elétrico do soprador. De acordo com a temperatura da fumaça que sai da chaminé, a velocidade do soprador aumenta ou diminui. Este controle é feito pelo CLP através de um inversor de frequência.

Para cada faixa de temperatura da fumaça expelida pela chaminé, foi programada uma velocidade no inversor para acionar o motor elétrico, conforme a equação da figura 16.

$$f(x) = \begin{cases} n_{min}, & \text{se } (x) = t_{min} \\ n_{min+400}, & \text{se } (x) = t_{min+10} \\ n_{min+800}, & \text{se } (x) = t_{min+20} \\ n_{min+1200}, & \text{se } (x) = t_{min+30} \\ n_{min+1600}, & \text{se } (x) = t_{min+40} \end{cases}$$

Figura 16 - Equação da velocidade do motor

Fonte: Autoria própria



Esse tipo de controle foi escolhido por alguns motivos, relacionados a seguir:

- A instalação de um sensor de vazão exigiria um tratamento especial da fumaça antes de chegar ao sensor para não danificá-lo;
- Um sensor de vazão com valor acessível gera uma perda de carga indesejável no sistema, reduzindo a capacidade do soprador;
- Um sensor de vazão onde a fumaça não precise passar por tratamento inviabilizaria economicamente o projeto, sendo seu custo maior do que todos os equipamentos instalados.
- Uma vez que a vazão do soprador é conhecida em velocidade nominal, e esta é a velocidade em que o motor trabalha durante o período de produção de fumaça, a variação da velocidade do motor e consequente alteração da vazão se dão somente entre o período de produção de fumaça e o “descanso” do sistema, onde uma pequena injeção do ar captado através da chaminé é feita somente para manter a aeração do tanque, evitando o aglutinamento e decantação das microalgas. Esta medida também gera economia de energia.

### **3.3.2 Controle de Temperatura do Meio de Cultivo**

O controle de temperatura do meio de cultivo do sistema de tratamento é feito através de sensores do tipo PT-100, instalados nos fotobiorreatores, um na parte inferior e um na parte superior, para que o CLP calcule média da temperatura do cultivo.

Para manter a temperatura em patamares ideais, cada fotobiorreator contém duas resistências ligadas em paralelo de 300W/220V, que são acionadas pelo CLP quando a média de

temperatura do meio de cultivo fica abaixo dos parâmetros estabelecidos.

### 3.3.3 Controle de pH do Meio de Cultivo

O pH mostra aos pesquisadores a saúde das microalgas do sistema de tratamento. Para realizar as medições, foi adquirido um sensor de pH do tipo submersível, com faixa de operação entre 0 a 14 pH, montado em invólucro de proteção IP 68 para resistir a intempéries, com sinal de saída 4-20 mA, que é mais imune a distúrbios da rede elétrica. Como a medição de pH não é necessária de modo contínuo no processo, apenas por amostragem e também a sonda do sensor precisa de cuidados especiais para manutenção, foi optado por construir um dispositivo de análise, onde as amostras do meio de cultivo de cada fotobiorreator são colocadas para realizar a medição.

#### 3.3.3.1 Dispositivo de Análise de Amostras

O dispositivo de análise de amostras consiste em um recipiente de aço inox, onde está instalado o sensor de Ph, conforme ilustra a figura 17.

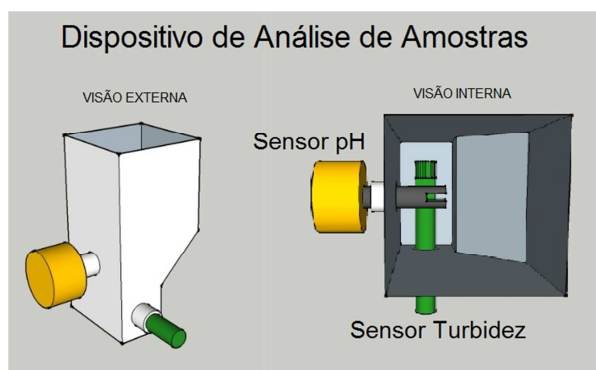


Figura 17 - Dispositivo de Análise de Amostras

Fonte: Autoria Própria

Com este dispositivo é possível realizar a medição do pH dos fotobiorreatores, a limpeza e conservação da sonda do sensor de pH. Quando o sensor não está sendo utilizado, o mesmo deve permanecer em uma solução de KCl, que mantém a sonda em condições ideais para utilização, prolongando também a vida útil do equipamento.

Para funcionamento do dispositivo de análise de amostras foi necessário a instalação de bombas, sensores de nível e eletroválvulas no mesmo. Duas bombas transferem o material do fotobiorreator para dentro do tanque do dispositivo de análises, outra bomba faz a limpeza com água do tanque e outra bomba enche com KCl até o nível de cobertura da sonda de pH o tanque, para manutenção do sensor. Dois sensores de nível estão instalados: um para a amostra dos fotobiorreatores e outro para a solução KCl. Na saída temos 2 eletroválvulas: uma quando ativada, direciona a solução para o tanque de KCl, outra quando ativada envia para o tanque de pós análise. Após realizada a análise de pH do meio de cultivo retirado do fotobiorreator, o material vai para o tanque de pós análise. Este tanque também recebe a água da lavagem do dispositivo de análise de amostras. Esta água do processo de lavagem adiciona-se ao fotobiorreator, ajudando a manter o nível do meio de cultivo, uma vez que perde-se água na forma de vapor durante o processo de tratamento da fumaça. O resíduo de KCl que é retirado pelo processo de lavagem e volta para dentro dos tanques não é prejudicial ao cultivo das microalgas, por isso pode ser assim trabalhado.

Como este dispositivo de análise trabalha de forma sequencial, sempre obedecendo a uma rotina pré-definida, optou-se por automatizar o processo através de um circuito eletrônico sequencial, utilizando apenas uma saída do CLP para comandar toda a sequência de análise.

### 3.3.3.2 Circuito Sequencial de Acionamento dos equipamentos do Dispositivo de Análise de Amostras

O circuito consiste em uma etapa de acionamento sequencial formada pelo CI 7493, que é um contador binário – divisor por 16 que é capaz de trabalhar numa frequência de até 18 MHz, que recebe os pulsos oriundos do controle feito pelo CLP. Ele converte esses pulsos em um código BCD que é interpretado pelo CI 7442, que é um decodificador BCD para 1 de 10, que dependendo do código BCD enviado ele altera uma de suas 10 saídas para nível baixo, permanecendo as demais em nível alto. Cada Saída é ligada a um transistor do tipo PNP que faz a atuação de um relé para acionar as bombas e eletroválvulas do dispositivo de análise de pH.

A outra etapa do circuito aciona de forma temporizada o relé que faz o acionamento da bomba de limpeza com água. O acionamento acontece em conjunto com os relés acionados pela etapa sequencial que são responsáveis pelo acionamento da eletroválvula de esgotamento para o tanque de pós análise. Este circuito funciona com um CI 555, que é um temporizador de uso geral, neste caso trabalhando no modo monoastável. Quando a eletroválvula do tanque de pós análise é acionada, é enviado um sinal nível alto para a base de um transistor NPN o qual aciona um relé, que aciona o CI 555 para iniciar a contagem de tempo.

A utilização deste relé para acionamento do CI 555 foi única e exclusivamente pela necessidade de transformar o sinal contínuo em nível alto enviado pelo relé da eletroválvula do tanque de pós análise em um pulso no pino 2 do CI 555. Aproveitando do *delay* existente entre o acionamento do relé e o fechamento dos contatos é que foi conseguido o pulso. Quando o transistor NPN comuta, ele põe em massa a bobina do relé e também o pino comum do relé. O pino 2 do CI 555 está ligado ao contato normalmente fechado do relé, fazendo com que ao transistor comutar, além da bobina do relé, o pino 2 também é colocado em massa pelo período de tempo que demora para se dar a magnetização da bobina do relé e consequente abertura do contato

normalmente fechado, sendo este tempo suficiente para que o CI555 inicie a contagem do tempo de acionamento do relé que está conectado ao pino 3. O tempo de acionamento é controlado pela descarga do capacitor C2 de 470 uF em função da regulagem do trimpot de 50k, podendo variar de 0 a 25,85 segundos. Este valor é obtido através da equação:

$$T = 1,1 \times R \times C$$

Sendo R o valor da resistência, C o valor da capacitância e T o tempo em segundos que o capacitor demorará para atingir 2/3 de Vcc.

A figura 18 mostra o projeto do circuito feito no *software Multisim 11* da *National Instruments*.

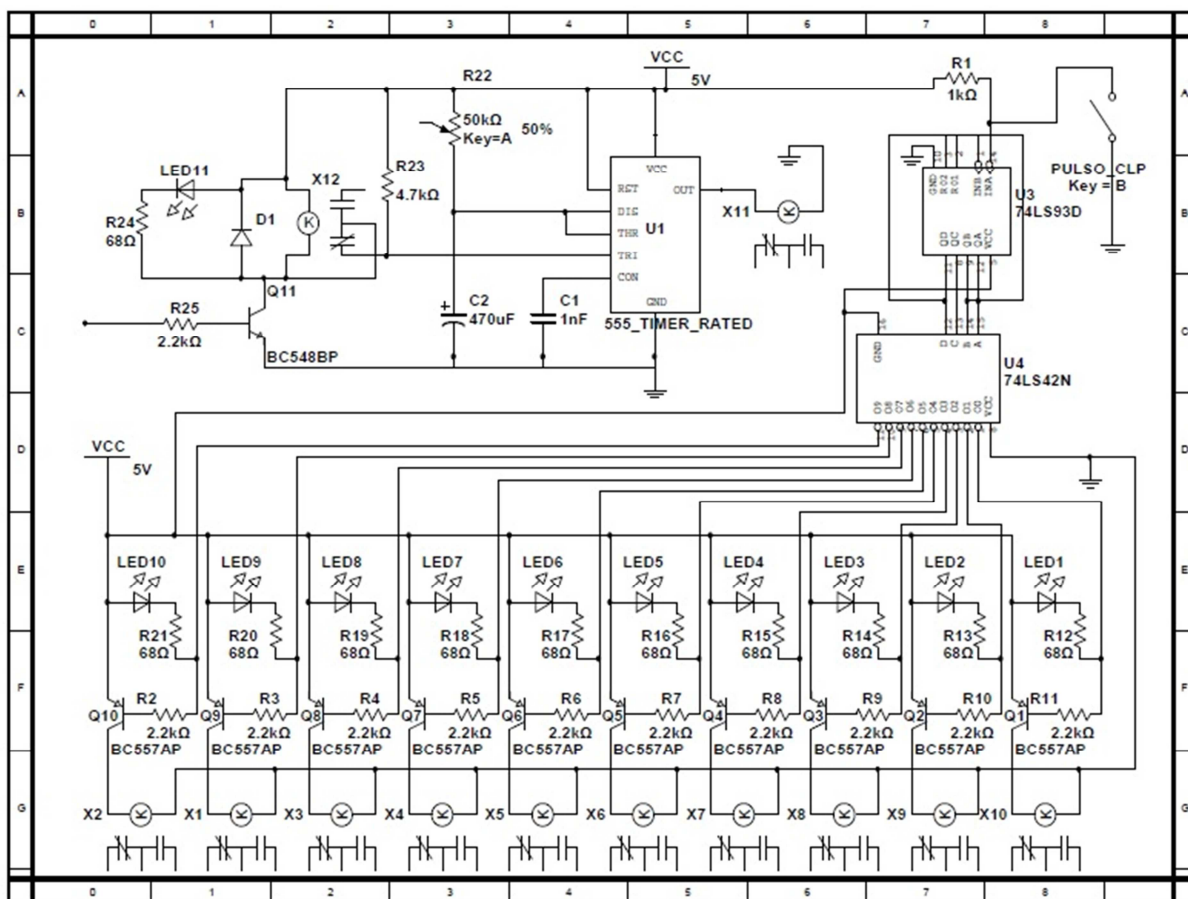


Figura 18 - projeto do circuito sequencial

Fonte: Autoria Própria

### 3.3.4 Data Logger - Armazenamento e Disponibilização dos Dados

Para armazenamento dos dados do sistema foi escolhido um equipamento dedicado para este fim, conhecido como *data logger*, similar ao da figura 19. A escolha se deu mais pela familiaridade dos pesquisadores com o equipamento, uma vez que o mesmo possui uma interface amigável, de fácil configuração e principalmente de visualização e coleta dos dados.



Figura 19 - Data Logger utilizado no projeto

Fonte: [www.novus.com.br](http://www.novus.com.br)

O *data logger* é um equipamento que recebe o sinal dos sensores, convertendo o mesmo em um valor numérico, e faz o armazenamento destes valores condicionados ao tempo em que ele foi adquirido, possibilitando a verificação da variação da grandeza medida em cada momento de tempo. Estes dados ficam disponíveis na memória interna do equipamento e podem ser acessados localmente ou via rede *ethernet* ou também através da *internet*, de modo remoto.

Além disso o *data logger* possui entradas analógicas e digitais de alta resolução e velocidade, que podem ser configuradas para vários tipos de sensores e sinais, dando grande flexibilidade de aplicações ao equipamento.

Outra grande vantagem é a comunicação. O equipamento pode ser programado para enviar mensagens por e-mail com notificações e alertas no momento que acontecem os eventos não desejáveis. Além

disso a visualização e coleta dos dados pode ser feita a distancia, via *internet*, deixando o sistema *on-line*.

### 3.4 ESPECIFICAÇÃO DOS COMPONENTES UTILIZADOS NO PROJETO

De acordo com as características do processo, foram adquiridos os componentes que estão sendo utilizados neste projeto, conforme especificações a seguir.

#### 3.4.1 Sensores

São utilizados neste processo 3 tipos de sensores: sensor de temperatura, sensor de pH e sensor fotoelétrico.

##### 3.4.1.1 Sensor de Temperatura

São utilizados 6 sensores de temperatura no processo: um para temperatura da fumaça, instalado na chaminé da churrasqueira, outro para temperatura ambiente e dois instalados em cada fotobiorreator, para medição da temperatura do meio de cultivo.

Todos os sensores são do tipo PT-100, que são termo resistências de platina cujo princípio de funcionamento se baseia na alteração da resistência elétrica do elemento com a variação da temperatura. A variação da resistência com a temperatura é chamada de coeficiente de temperatura e é especificada como a média da variação entre 0 e 100 °C. Este coeficiente é de 0,385 por °C, conforme a norma IEC 60751.

O *range* dos sensores foi definido de 0-100°C, que cobre a faixa de trabalho de todos os sensores com a precisão necessária para o processo. Cada sensor possui duas saídas a três fios, uma delas enviada para o CLP e outra para o *data-logger*.

#### 3.4.1.2 Sensor de pH

O Sensor de pH é utilizado para verificar a qualidade do meio de cultivo, para alertar aos pesquisadores a necessidade de interferência para controle da acidez ou alcalinidade do mesmo, mantendo saudável o meio de cultivo dos fotobiorreatores para maior eficiência do processo de tratamento.

O *range* do sensor de pH vai de 0 a 14, cobrindo toda a faixa de atuação, com tempo de resposta menor que 6 segundos para 95% da variação do pH. O sinal de saída do sensor é de 4-20 mA, a 2 fios, que é enviado para o módulo DVP-06XA do CLP, onde o valor de entrada é repetido e uma saída do módulo para ser enviado ao *data-logger*.

#### 3.4.1.3 Sensor Fotoelétrico

É o sensor mais simples utilizado no processo, se tratando de um relé fotoelétrico que atua na ausência da luz, fechando os contatos do relé que está conectado a uma das entradas digitais do CLP. Este sinal é utilizado para acionamento da iluminação artificial dos fotobiorreatores. Esta iluminação é essencial para o processo, pois somente na presença de luz que é possível a realização de fotossíntese pelas microalgas e conseqüentemente a absorção dos odores gerados pela churrasqueira.

### 3.4.2 Atuadores

Os atuadores utilizados no processo são acionados pelo CLP: relés da iluminação artificial, relés das resistências de aquecimento dos fotobiorreatores e o compressor radial.



#### 3.4.2.1 Relés da Iluminação Artificial

São dois relés utilizados para ativação da iluminação do fotobiorreator 01 e 02. São comandados em 24 V e atuam uma carga de iluminação de 150W/220V cada.

#### 3.4.2.2 Relés das resistências de aquecimento

São dois relés utilizados para acionamento das resistências de aquecimento do fotobiorreator 01 e 02. São comandados em 24 V e atuam uma potencia de 600W/220V em cada fotobiorreator.

#### 3.4.2.3 Compressor Radial

O compressor radial é utilizado para fazer com que a fumaça seja direcionada da saída da chaminé para dentro dos fotobiorreatores para que possa ser tratada.

Conforme estudos do TECPAR foi proposta a utilização de um compressor radial com vazão de equivalente a 20% da vazão total da chaminé – 1290 nm<sup>3</sup>/hora.

Contatando os fabricantes, foi escolhido o compressor radial de duplo estágio, com motor de 5 CV, 3600 RPM, com vazão de 240 nm<sup>3</sup>/hora, e pressão de 3400 mmCA.

Para acionamento deste compressor optou-se pela utilização de um inversor de frequência, pois existe a necessidade de variação da aeração conforme a produção de fumaça, o que também ajuda a reduzir o consumo de energia nos momentos onde não está sendo produzida a fumaça. O inversor tem corrente nominal de 20,8 A e tensão de alimentação de 200V – 240V trifásico, podendo acionar motores de até 5CV/4kW, este inversor conta com um *range* de frequência de 0 – 16000 Hz, cobrindo toda faixa utilizável neste processo.

### **3.4.3 Controlador Logico Programável**

Para automação foi escolhido um CLP com grande flexibilidade de funções e possibilidade de expansão de módulos para atender a futura ampliação do sistema. O CLP escolhido tem 28 pontos de E/S sendo ampliável até 512, com capacidade de 16k de lógica de programa e interface de comunicação com RS-232 e RS-485 integrados.

Foram adicionados 3 módulos de entradas e saídas analógicas, sendo 02 módulos com 04 entradas analógicas para sensores de temperatura tipo PT-100 e um modulo analógico configurável, tendo flexibilidade para instalação de até 4 canais analógicos de entrada e 2 canais de saídas analógicas.

Além dos módulos analógicos foi adicionado um módulo específico de comunicação tipo ethernet, que faz parte da arquitetura do processo, para transmissão dos dados e também parametrização do CLP a distancia, caso necessário.

### **3.4.4 Data Logger**

Este é um equipamento de aquisição e registro de variáveis analógicas. Opera como um registrador eletrônico de dados, armazenando as informações adquiridas em sua memória interna para análise posterior. Sua configuração é feita através de um software de fácil operação. Este Software acompanha o equipamento e roda sobre as plataformas Windows®.

Possui 8 entradas analógicas configuráveis por software para sinais de tensão, corrente, termopares, Pt100 e Pt1000. Dispõe ainda de 2 saídas a relé e 8 portas digitais individualmente configuráveis como entrada ou saída.

Possui até 128 canais para o cálculo de grandezas a partir das informações medidas. Até 32 ocorrências de alarme podem ser

detectadas, permitindo o acionamento de saídas, envio de e-mails ou de traps SNMP.

Sua interface RS485 opera com o protocolo Modbus RTU e pode ser configurada como mestre ou escravo, o que permite a aquisição de até 64 canais externos para registro. Tem uma interface Ethernet que permite o acesso ao equipamento por navegador (HTTP), FTP (cliente e servidor), envio de e-mails (SMTP), SNMP e Modbus TCP. Possui uma interface USB para conectar a um computador (configuração, monitoramento ou coleta) e outra para a conectar um pen drive (coleta). Com memória básica para 512k registros, permite ainda expansão por cartão SD.

### 3.4.5 IHM

Foi utilizada a IHM DOP-B, com tela *touch screen* de 7" colorida, interface USB, RS232, RS485 e conexão com *Ethernet*.

Foi realizada uma configuração da rede *Modbus RTU* via barramento RS 485 conforme especificado no item 2.5.2.2 deste trabalho, com a IHM atuando como mestre, tendo como escravo de leitura o data logger e escravo de escrita o CLP, onde através da rede *Modbus RTU*, a IHM realiza a leitura das variáveis de temperatura dos sensores PT100 instalados nos canais do *data logger*.

A IHM escreve então estes dados e os seus parâmetros nas memórias internas do CLP, que faz então a comparação dos valores escritos na sua memória com os valores parametrizados no programa, fazendo o acionamento das saídas digitais e analógicas conforme estabelecido pelo programa.

### 3.4.6 Painéis e Cabeamento

Foram projetados e montados 3 painéis para acondicionar os equipamentos e servir de interface para conexões dos cabos entre o processo e os equipamentos.

O painel 01 contém o CLP e seus módulos de extensão, a fonte 24Vcc e os *data-loggers*. O painel 02 armazena a parte de potência, contendo o inversor de frequência e os relés que acionam a iluminação artificial e as resistências de aquecimento dos fotobiorreatores. O painel 03 é um painel de interface de conexão, contém 5 borneiras que interligam os painéis 01 e 02 ao processo, e foi projetado visando preservar as conexões dos bornes dos equipamentos de automação, pois a conexão e desconexão dos cabos de forma contínua pode causar danos aos bornes dos equipamentos e a troca dos mesmos nem sempre é possível e viável.

### 3.4.7 Eletrônica de Apoio

No processo foi identificado que a etapa de medição de pH opera sempre de forma sequencial, foi feito um estudo para montagem de um circuito eletrônico para realização desta tarefa, reduzindo o número de E/S utilizadas pelo CLP para este processo, conforme descrito no capítulo 3.3.3 deste trabalho.

Esta eletrônica de apoio tem dois objetivos: reduzir a quantidade de cabos que seriam necessários para acionamento dos equipamentos do dispositivo de análise de amostras de pH para apenas 6 fios (sinal de pulso sequencial enviado pelo CLP, GND, +24VCC, terra e sinal de 4-20 a dois fios do sensor de pH).

O segundo objetivo é evitar a compra de um módulo de expansão de entradas e saídas digitais, necessárias para acionamento dos relés e válvulas dos tanques, que inevitavelmente necessitariam de uma

interface de relés devido as diferentes tensões de acionamento dos atuadores do dispositivo de análises.

#### **3.4.8 Orçamento dos materiais e equipamentos**

No anexo 2 encontra-se a planilha de custos resumida do valor investido para aquisição de materiais e equipamentos necessários para realizar a automação do processo.

### **3.5 INTERCONEXÃO DOS COMPONENTES**

Para que todo sistema de automação funcione, é necessária a conexão correta de todos os componentes, sensores, atuadores e o meio físico da rede de comunicação, através de condutores próprios para cada tipo de sinal a ser transmitido, tomando muito cuidado na hora de realizar as conexões nas borneiras, que devem estar devidamente identificadas para evitar inversões ou ligações errôneas, que podem até danificar o equipamento. A figura 20 apresenta o diagrama multifilar simplificado das ligações do projeto.

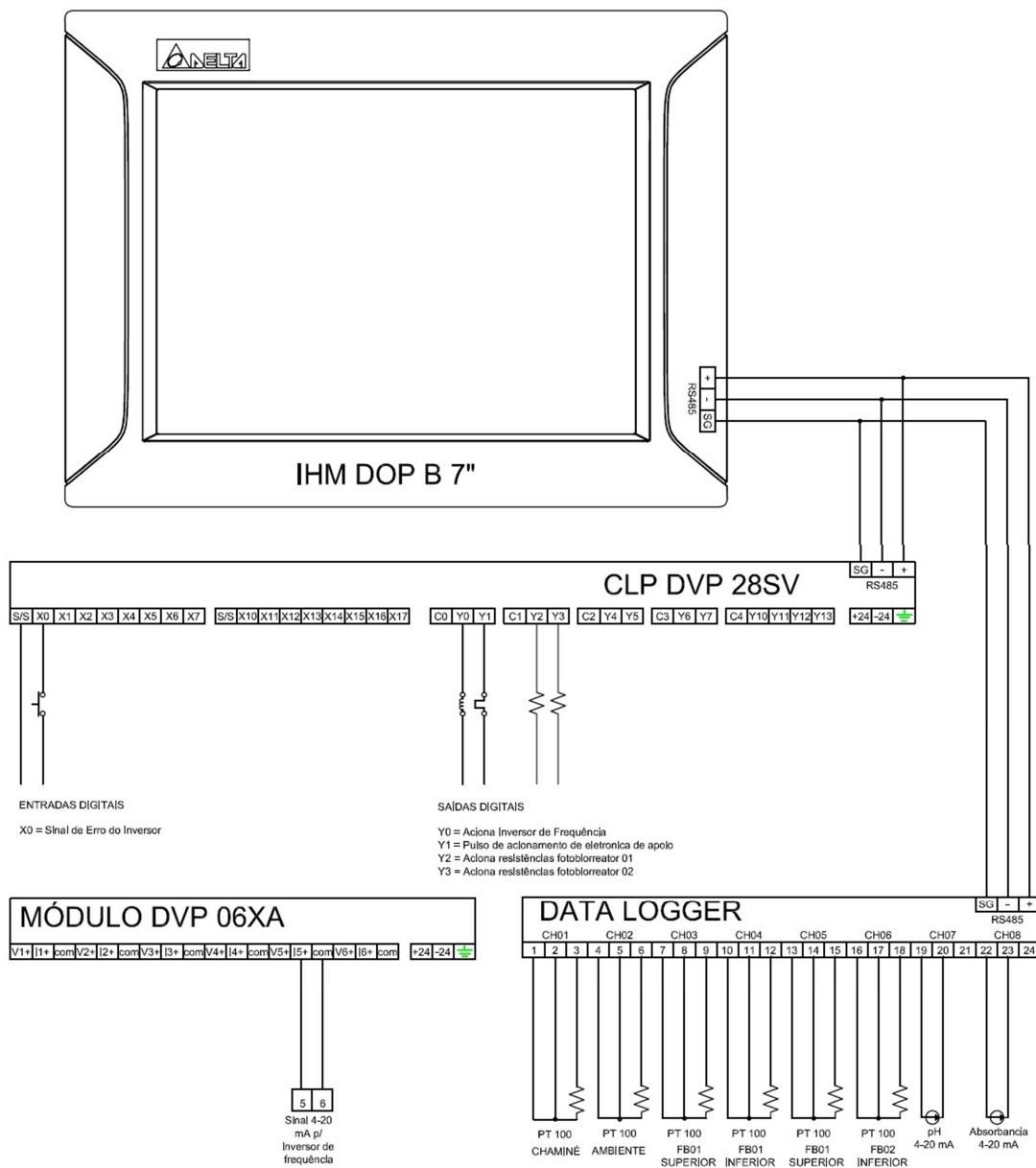


Figura 20 - Diagrama multifilar do projeto

Fonte: Autoria Própria

### 3.6 CARGA DOS PROGRAMAS DE AUTOMAÇÃO

Neste projeto foram utilizados 3 programas para realização da automação, o *Dop-Soft* para a IHM, o *ISPSOft* para o CLP e o *Fieldlogger Config* no *data logger*.

A IHM foi configurada como mestre da Rede MODBUS RTU. Os dados de sensores são adquiridos do *data logger*, que está configurado

como escravo, e então trabalhados pela IHM e escritos nas memórias internas do CLP, que é outro escravo da rede MODBUS.

A figura 21 ilustra todos os tipos de comunicação/controlado utilizados no projeto.

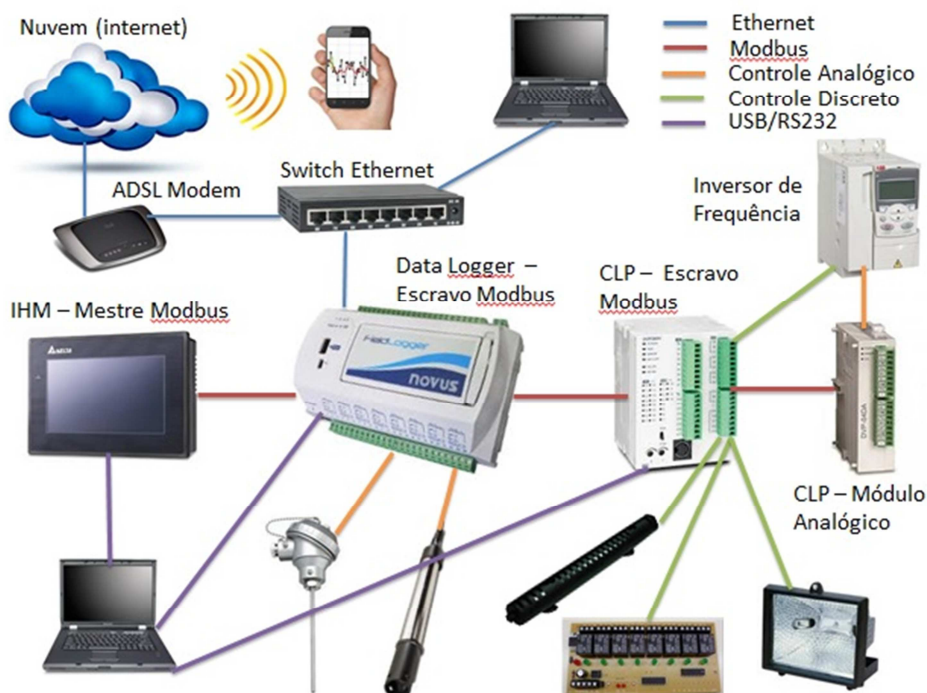


Figura 21 - Redes de comunicação utilizadas no projeto

Fonte: Autoria Própria

### 3.6.1 Programa da IHM

Para programação da IHM foi utilizado o software do fabricante, *DOPSoft*. A IHM não é simplesmente uma tela onde são exibidos valores, ela é utilizada principalmente para parametrização dos equipamentos conectados ao processo.

O programa da IHM é feito em 3 telas, sendo a primeira tela a de abertura, contendo a logomarca da churrascaria, conforme apresentado na figura 22:

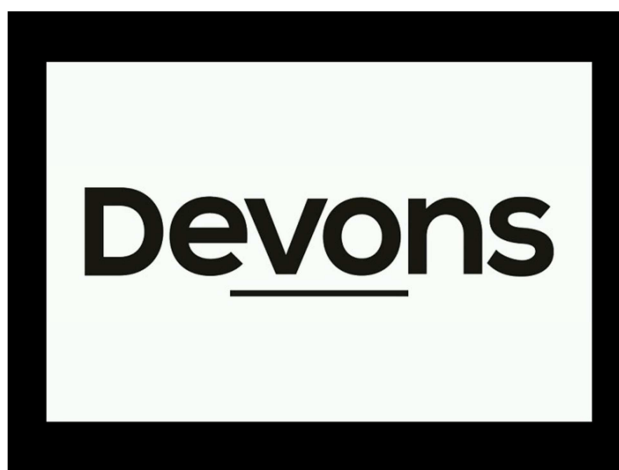


Figura 22 - Tela de abertura da IHM

Fonte: Autoria Própria

A segunda tela (figura 23) exibe os valores dos sensores instalados no processo, uma mensagem de alerta intermitente em caso de pane no inversor e botões de comando.

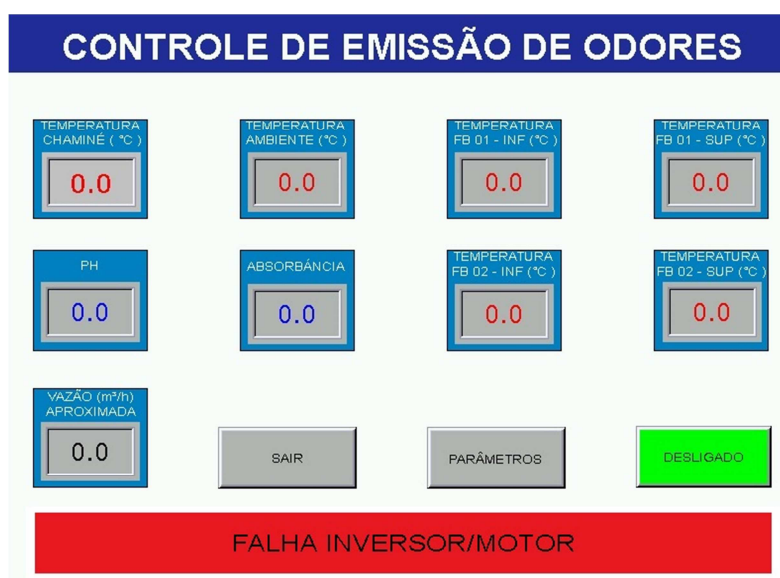


Figura 23 - Tela principal da IHM

Fonte: Autoria própria

A terceira tela (figura 24) é utilizada na parametrização do controle de temperatura do meio de cultivo, onde são colocados os valores mínimos de temperatura antes de acionar as resistências de aquecimento e também o valor da histerese, que é a diferença em



graus centígrados entre a temperatura em que as resistências são ativadas e desativadas, em função do valor mínimo de temperatura parametrizado.

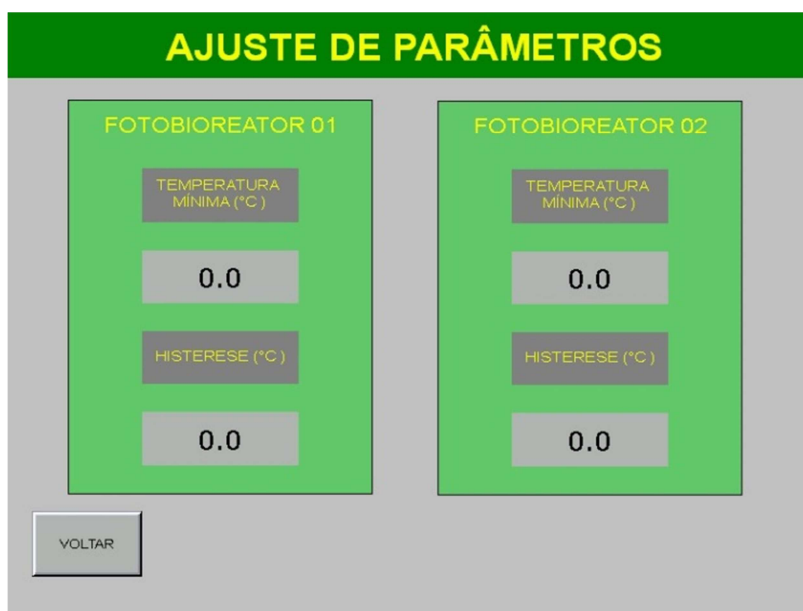


Figura 24 - Tela de parametrização de temperatura

Fonte: Autoria Própria

### 3.6.2 Programa do CLP

Para programação do CLP foi utilizado o software do fabricante, ISPSOft. Nele foi feita a programação utilizando os blocos lógicos e acionamentos do diagrama *ladder*. O programa contém 6 *Networks*, detalhadas a seguir.

*Network 01*: Rede MODBUS

*Network 02*: Chamada do módulo de entradas e saídas analógicas

*Network 03*: Controle de velocidade do inversor de frequência através da saída analógica de 4-20 mA.

*Network 04*: Acionamento das resistências de aquecimento do fotobiorreator 01, conforme estabelecido na tela de parâmetros da IHM.

*Network 05*: Acionamento das resistências de aquecimento do fotobiorreator 02, conforme estabelecido na tela de parâmetros da IHM.

*Network 06*: Acionamento do inversor de frequência através de comando liga/desliga da segunda tela da IHM.

O anexo 3 apresenta o diagrama ladder utilizado no programa do CLP.

### 3.6.3 Programa do Data Logger

A programação do data logger se dá através de software do fabricante, *FieldLoggerConfig*. Este programa configura principalmente como os dados dos sensores do processo serão armazenados, a que velocidade serão lidos e como serão disponibilizados ou utilizados em uma rede por exemplo. As figuras 25 e 26 mostram a interface de programação do data logger.

**Configurações Gerais**

Tag

Tag do Equipamento  
DEVONS

Relógio

Data/Hora PC  
12/12/2013 19:53:00

*i* A data e hora atual do PC será enviada ao equipamento ao aplicar a configuração.

IHM

Níveis de Acesso  
Sem acesso por IHM

Endereço: 1      Bits de parada: 1

Baud rate: 9600      Paridade: Nenhuma

*i* É possível configurar os parâmetros da interface RS485 da IHM.

Coleta de Dados por Pen Drive

Habilitar Coleta

Prioridade de Dados  
 Mais Recente       Mais Antigo

Período da Coleta  
 Coletar Tudo       Período: 10 dias

Voltar                          Seguinte

Figura 25 - Tela de programação do data logger

Fonte: Autoria Própria

Figura 26 - Tela de programação dos canais do data logger

Fonte: Autoria Própria

### 3.7 START-UP E TESTES DE FUNCIONALIDADE

O *start-up* é a etapa de parametrização e ajuste final do processo, onde são testados todos os equipamentos instalados e corrigidos os parâmetros ou configurações que não funcionaram adequadamente.

Os testes e ajustes efetuados foram os seguintes:

- Testes de comunicação da rede MODBUS RTU.
- Parametrização da rede Ethernet de acordo com o novo servidor instalado na churrascaria.
- Teste dos sensores de temperatura.
- Testes do inversor e motor elétrico do compressor radial.

- Teste no sistema de aquecimento dos fotobiorreatores.
- Teste nos acionamentos da IHM e suas telas.
- Ajuste da parametrização do inversor de frequência de acordo com as características do motor elétrico instalado no compressor radial.

### 3.8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após instalação do sistema foram obtidos os seguintes resultados:

- Disponibilização *on-line* dos valores medidos nos sensores, com facilidade do acesso via internet dos mesmos.
- Economia de energia com a variação da frequência no acionamento do motor elétrico do compressor radial, pois nos períodos em que a produção de fumaça pela chaminé deixa de existir a velocidade do motor é reduzida ao mínimo necessário para promover a aeração do meio de cultivo, impactando numa redução de aproximadamente 25 a 30% de economia no gasto com energia elétrica.
- Garantia da manutenção da temperatura do meio de cultivo dos fotobiorreatores nos patamares necessários para eficiência do sistema de tratamento nos períodos de menor temperatura.
- Uso dos dados dos sensores para desenvolvimento da pesquisa, possibilitando estudo e entendimento do processo.

## 4 CONCLUSÃO

Com o crescente aumento das emissões atmosféricas, é de primordial importância que sejam desenvolvidas novas formas de tratamento destas emissões, que possam mitigar os poluentes emitidos, mantendo e até melhorando a qualidade do ar que respiramos.

O odor das emissões atmosféricas, sendo agradável ou não, é um indicador de poluição que é rapidamente notado e associado à empresa que o gera. Para quem reside próximo da fonte de emissão, mesmo o melhor odor torna-se, com o tempo, insuportável. Conseqüentemente isso acaba se tornando um problema para a empresa, principalmente nos grandes centros urbanos, pois é necessária a instalação de sistemas de tratamento destas emissões, que são um custo a mais que precisa ser agregado aos produtos da empresa.

Estes sistemas de tratamento exigem manutenção contínua, e conseqüentemente geram resíduos que precisam ser descartados de forma adequada, visando não prejudicar o meio ambiente. Neste projeto, como o tratamento das emissões é feito por meio biológico, os resíduos gerados não agridem o meio ambiente e podem ainda ser utilizados em outras aplicações, desde na indústria de fármacos até a produção de combustível renovável de origem não fóssil.

Como o sistema de tratamento contém organismos vivos, faz-se necessário manter as condições de cultivo ideais para que os mesmos possam sobreviver e desempenhar seu papel no sistema de tratamento. E esse foi o desafio enfrentado para realizar a automação do projeto.

A automação trouxe a possibilidade de monitoramento *on-line* do projeto, onde os dados dos sensores instalados poderiam ser analisados e comparados com o comportamento dos organismos vivos do sistema, o que ajudou os pesquisadores a compreender melhor as características necessárias para o bom funcionamento do processo.

Com os dados obtidos através do monitoramento, foi possível identificar e estabelecer melhorias no sistema, não conhecidas até então. A capacidade de alterar os parâmetros de vazão e temperatura

também auxiliou a se obter novas possibilidades de funcionamento do sistema de tratamento.

Manter um sistema biológico funcionando em condições ideais sem a utilização da automação inviabilizaria o processo, pois demandaria de profissionais cuidando das variáveis do processo e registrando-as em tempo integral.

Projetar um sistema automatizado envolve conhecimento do funcionamento do processo, as variáveis que precisam ser mantidas e os tipos de equipamentos que são adequados para instalação no ambiente utilizado. Um grande desafio neste projeto foi encontrar equipamentos adequados ao processo, pois como o projeto é inovador, alguns equipamentos não são próprios para o sistema, a exemplo da bomba que injeta as emissões para dentro dos fotobiorreatores, não há nada no mercado que atenda as características necessárias (bombear fumaça), tendo então que utilizar um equipamento de forma adaptada.

A montagem dos equipamentos de automação desenvolve os conhecimentos de informática, máquinas elétricas, eletrônica e instalações elétricas, além de outros como: mecânica, engenharia de materiais e física. A necessidade de conhecimento em todas estas áreas devido as suas correlações intrínsecas faz com que o profissional de automação desenvolva-se em todas as áreas.

Finalmente, a junção do aprendizado teórico e a aplicação prática em um projeto onde existem muitos profissionais de diversas áreas de formação acadêmica envolvidos possibilitou o desenvolvimento extra classe prático, que complementa o ensino acadêmico harmoniosamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTAZZI JR, A., SOUSA, André Roberto de. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**. Barueri/SP : Manole, 2008.

AMARAL, Danilo. **História da Mecânica – O motor a vapor**. Belo Horizonte: UFMG. Departamento de Engenharia Mecânica, [s.d.]. Apresentação. 35 transparências, preto e branco, em formato PDF.

BALBINOT, A. **Poluição Olfativa – Composição, mensuração e técnicas de tratamento de efluentes com potencial odorífero**. 2010. 44 p. Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

BOLTON, William. **Mecatrônica: uma abordagem multidisciplinar**. Porto Alegre/RS: Bookman, 2010.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 382 de 2006. Estabelece padrões de emissões atmosféricas. Brasília, 2006.

BURGESS, E.J.; PARSONS, S.A.; STUETZ, R.M. **Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology: a review**. Biotechnology Advances. Volume 19. 2001. p 35-63.

CAPELLI, Alexandre. **Automação Industrial: Controle do movimento e processos contínuos**. São Paulo/SP: Érica, 2008.

CASTRUCCI,P; MORAES, C. C. **Engenharia de Automação Industrial**. São Paulo: Editora LTC, 2007.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/informa??es-B?asicas/21-Poluentes>> Acesso em 12/02/2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 2006. **Resolução Conama n<sup>o</sup> 382**. Disponível em:< [www.mma.conama.gov.br/conama](http://www.mma.conama.gov.br/conama)> Acesso em 12/02/2014.

COSTA, L. A. A. **Especificando sistemas de automação industrial**. São Paulo: Editora Biblioteca24horas, 2011.

FRANCHI, Claiton M.; CAMARGO, Valter L. A. de. **Controladores Lógicos Programáveis – Sistemas Discretos**. São Paulo/SP: Érica, 2009.

GARVIN, David A. **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1992.

GEORGINI, Marcelo. **Automação Aplicada – Descrição e Implementação de Sistemas Seqüenciais com PLCs**. São Paulo/SP: Érica, 2000.

GUIRY, M. **Michael Guiry's Seaweed Site**. Disponível em <<http://www.seaweed.ie/algae/algae.php>>. Acesso em 20/08/2014.

HALL, D.; CALLER, R. **“CO2 cycling by biomass: global bio productivity and problems of deforestation”** y Amazônia: Facts, Problems and Solutions. July-August, 1989.

JUNG, C. F. **Metodologia para pesquisa & desenvolvimento: aplicada a novas tecnologias, produtos e processos**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004

KAYE R., JIANG K., **Development of odour impact criteria for sewage treatment plants using odour complaint history**. Water Science Technology, volume 17. 2000. p 211-217, apud SCHIRMER N.W., LISBOA M.H., MUNIZ S.C.A, **Determinação de Gases Inorgânicos Odorantes a Partir de Superfície Líquida: aplicação de câmara de fluxo em lagoas de tratamento de efluentes de refinarias de petróleo**, Revista de Ciência e Tecnologia, Volume 13. 2005. p 55-63.

KENNES C., VEIGA M.C., **Bioreactors for Waste Gas Treatment**, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2001. 312p.

KOCH, Richard. **O princípio 80/20: O segredo de se realizar mais com menos**. São Paulo: Editora Rocco, 2000.



LUGLI, Alexandre B.; SANTOS, Max M. D.; FRANCO, Lucia R. H. R. Redes Ethernet Industriais: visão geral. **INSTITUTO NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES**. Santa Rita do Sapucaí, 2009. Disponível em:

<[http://www.inatel.br/biblioteca/component/docman/doc\\_download/3835redesSether-net-industriais-visao-geral](http://www.inatel.br/biblioteca/component/docman/doc_download/3835redesSether-net-industriais-visao-geral)> Acesso em: 08/04/2014.

MARTINS, G. M. **Princípios de Automação Industrial**. 2012. 215 p. Apostila do Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

MMA – **Ministério do Meio Ambiente**. Poluentes Atmosféricos. Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosfericos>> Acesso em : 17/03/2014.

MIKAMI, R. W. **Avaliação da eficiência de um sistema biológico para tratamento de emissões atmosféricas**. 2011. 62 p. Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Tecnologia em Processos Ambientais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

OLAIZOLA, M.; BRIDGES, T.; FLORES, S.; GRISWOLD, L.; MORENCY, J.; NAKAMURA, J. **Microalgal removal of CO2 from flue gases: CO2 capture from a coal combustor**. Physical Sciences Inc., Andover, MA.

PASA, V. M. D. **Toxicidade dos produtos derivados da fabricação do carvão-Alcatrão Vegetal x Alcatrão Mineral**. Folha Florestal, Viçosa – Brasil, v.97, p. 9-10, 2000.

QASIM, Syed e CHIANG, Walter. **Sanitary Landfill Leachate**. Editora Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, U.S.A., 1994.

REIS Jr., Neyval Costa. **Poluição do ar**. Vitória: UFES. Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Ambiental, [s.d.]. Programa do curso em seis módulos. 52 transparências, color, em formato .pdf.

SANTOS, W. E. dos.; SILVEIRA, P. R. da. **Automação e Controle Discreto**. São Paulo/SP: Érica, 1998.

## ANEXO 01

### PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS

<p><b>Aldeídos (RCHO)</b> - Compostos químicos resultantes da oxidação parcial dos alcoóis ou de reações fotoquímicas na atmosfera, envolvendo hidrocarbonetos.</p> <p><b>Fontes</b> - são emitidos na queima de combustível em veículos automotores, principalmente nos veículos que utilizam etanol. Os aldeídos emitidos pelos carros são o Formaldeído e o Acetaldeído (predominante).</p> <p><b>Efeitos</b> - seus principais efeitos são a irritação das mucosas, dos olhos, do nariz e das vias respiratórias em geral e podem causar crises asmáticas, são ainda compostos carcinogênicos potenciais.</p>
<p><b>Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>)</b> - é um gás tóxico e incolor, pode ser emitido por fontes naturais ou por fontes antropogênicas e pode reagir com outros compostos na atmosfera, formando material particulado de diâmetro reduzido.</p> <p><b>Fontes</b> - fontes naturais, como vulcões, contribuem para o aumento das concentrações de SO<sub>2</sub> no ambiente, porém na maior parte das áreas urbanas as atividades humanas são as principais fontes emissoras. A emissão antropogênica é causada pela queima de combustíveis fósseis que contenham enxofre em sua composição. As atividades de geração de energia, uso veicular e aquecimento doméstico são as que apresentam emissões mais significativas.</p> <p><b>Efeitos</b> - entre os efeitos a saúde, podem ser citados o agravamento dos sintomas da asma e aumento de internações hospitalares, decorrentes de problemas respiratórios. São precursores da formação de material particulado secundário. No ambiente, podem reagir com a água na atmosfera formando chuva ácida.</p>
<p><b>Dióxido de Nitrogênio (NO<sub>2</sub>)</b> - é um gás poluente com ação altamente oxidante, sua presença na atmosfera é fator chave na formação do ozônio troposférico. Além de efeitos sobre a saúde humana apresenta também efeitos sobre as mudanças climáticas globais.</p> <p><b>Fontes</b> - as fontes podem ser naturais (vulcanismos, ações bacterianas, descargas elétricas) e antropogênicas (processos de combustão em fontes móveis e fixas). As emissões naturais são em maior escala que as antropogênicas, porém, em razão de sua distribuição sobre o globo terrestre, tem menor impacto sobre as concentrações deste poluente nos centros urbanos.</p> <p><b>Efeitos</b> - altas concentrações podem levar ao aumento de internações hospitalares, decorrente de problemas respiratórios, problemas pulmonares e agravamento à resposta das pessoas sensíveis a alérgenos. No ambiente pode levar a formação de smog fotoquímico e a chuvas ácidas.</p>
<p><b>Hidrocarbonetos (HC)</b> - compostos formados de carbono e hidrogênio e que podem se apresentar na forma de gases, partículas finas ou gotas. Podem ser divididos em: THC - hidrocarbonetos totais; CH<sub>4</sub> - hidrocarboneto simples, conhecido como metano; NMHC - hidrocarbonetos não metano, compreendem os HC totais (THC) menos a parcela de metano (CH<sub>4</sub>).</p> <p><b>Fontes</b> - provêm de uma grande variedade de processos industriais e naturais. Nos centros urbanos as principais fontes emissoras são os carros, ônibus e caminhões, nos processos de queima e evaporação de combustíveis.</p> <p><b>Efeitos</b> - são precursores para a formação do ozônio troposférico e apresentam potencial causador de efeito estufa (metano).</p>
<p><b>Material Particulado (MP)</b> - é uma mistura complexa de sólidos com diâmetro reduzido, cujos componentes apresentam características físicas e químicas diversas. Em geral o material particulado é classificado de acordo com o diâmetro das partículas, devido à relação existente entre diâmetro e possibilidade de penetração no trato respiratório.</p> <p><b>Fontes</b> - as fontes principais de material particulado são a queima de combustíveis fósseis, queima de biomassa vegetal, emissões de amônia na agricultura e emissões decorrentes de obras e pavimentação de vias.</p> <p><b>Efeitos</b> - estudos indicam que os efeitos do material particulado sobre a saúde incluem: câncer respiratório, arteriosclerose, inflamação de pulmão, agravamento de sintomas de asma, aumento de internações hospitalares e podem levar à morte.</p>
<p><b>Monóxido de Carbono (CO)</b> - é um gás inodoro e incolor, formado no processo de queima de combustíveis.</p> <p><b>Fontes</b> - é emitido nos processos de combustão que ocorrem em condições não ideais, em que não há</p>

oxigênio suficiente para realizar a queima completa do combustível. A maior parte das emissões em áreas urbanas são decorrentes dos veículos automotores.

**Efeitos** - este gás tem alta afinidade com a hemoglobina no sangue, substituindo o oxigênio e reduzindo a alimentação deste ao cérebro, coração e para o resto do corpo, durante o processo de respiração. Em baixa concentração causa fadiga e dor no peito, em alta concentração pode levar a asfixia e morte.

**Ozônio (O<sub>3</sub>)** – é um poluente secundário, ou seja, não é emitido diretamente, mas formado a partir de outros poluentes atmosféricos, e altamente oxidante na troposfera (camada inferior da atmosfera). O ozônio é encontrado naturalmente na estratosfera (camada situada entre 15 e 50 km de altitude), onde tem a função positiva de absorver radiação solar, impedindo que grande parte dos raios ultravioletas cheguem a superfície terrestre.

**Fontes** - a formação do ozônio troposférico ocorre através de reações químicas complexas que acontecem entre o dióxido de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, na presença de radiação solar. Estes poluentes são emitidos principalmente na queima de combustíveis fósseis, volatilização de combustíveis, criação de animais e na agricultura.

**Efeitos** - entre os efeitos à saúde estão o agravamento dos sintomas de asma, de deficiência respiratória, bem como de outras doenças pulmonares (enfisemas, bronquites, etc.) e cardiovasculares (arteriosclerose). Longo tempo de exposição pode ocasionar redução na capacidade pulmonar, desenvolvimento de asma e redução na expectativa de vida.

**Poluentes Climáticos de Vida Curta (PCVC ou em inglês SLCP)** - são poluentes que tem vida relativamente curta na atmosfera (de alguns dias à algumas décadas), apresentam efeitos nocivos à saúde, ao ambiente e também agravam o efeito estufa. Os principais PCVC são o carbono negro, o metano, o ozônio troposférico e os hidrofluorcarbonetos (HFC).

**Fontes** - as fontes principais de carbono negro são a queima ao ar livre de biomassa, motores a diesel e a queima residencial de combustíveis sólidos (carvão, madeira). As fontes de metano antropogênicas são sistemas de óleo e gás, agricultura, criação de animais, aterros sanitários e tratamentos de esgotos. Com relação aos HFCs seu uso ocorre principalmente em sistemas de ar condicionado, refrigeração, supressores de queima, solventes e aerossóis.

**Efeitos** - os PCVCs tem efeitos negativos sobre a saúde humana, sobre os ecossistemas e sobre a produção agrícola. O carbono negro é um dos componentes do material particulado, o qual apresenta efeitos nocivos sobre os sistemas respiratório e sanguíneo, podendo levar a óbito. O metano tem grande potencial de aquecimento global, além de ser precursor na formação do ozônio troposférico. Os HFCs, assim como o metano, também apresentam grande potencial de aquecimento global.

Quadro 2 . Poluentes atmosféricos, fontes de emissão e efeitos no meio ambiente (MMA, 2014)

**ANEXO 02**  
**ORÇAMENTO RESUMIDO DO PROJETO**

<b>MATERIAIS E EQUIPAMENTOS</b>		<b>VALOR DO ITEM (R\$)</b>	
<b>ETAPA</b>			
<b>1</b>	<b>AQUISIÇÃO DE AUTOMAÇÃO, ELÉTRICA E SENSORES</b>	<b>R\$</b>	<b>18.741,16</b>
1.1	Equipamentos de Automação e Sensores de Temperatura	R\$	10.131,16
1.2	Sensor de pH	R\$	1.900,00
1.3	Resistências de Aquecimento	R\$	286,00
1.4	Inversor de Frequencia	R\$	1.623,00
1.5	Material Elétrico para montagem de automação (painéis, conexoes e fiação)	R\$	3.156,00
1.6	Atuadores para dispositivo de análise de pH	R\$	325,00
1.7	Materiais para montagem do dispositivo de análises de pH (tanque e estrutura)	R\$	1.320,00
<b>ETAPA</b>			
<b>2</b>	<b>FABRICAÇÃO DOS FOTOBIOREADORES</b>	<b>R\$</b>	<b>13.673,68</b>
2.1	Fabricação da estrutura dos reatores - Serviços de Metalurgia	R\$	12.000,00
2.2	Fabricação dos vidros dos reatores	R\$	1.053,68
2.3	Serviços de Tornearia	R\$	270,00
2.4	Materiais Diversos - Parafusos, materiais de vedação, fixação e etc...	R\$	350,00
<b>ETAPA</b>			
<b>3</b>	<b>MONTAGEM DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE FUMAÇA</b>	<b>R\$</b>	<b>11.227,65</b>
3.1	Aquisição do Compressor Radial	R\$	4.497,00
3.2	Tubulação de Aço galvanizado 2 " para saída do compressor	R\$	1.280,65
3.3	Tubulação de Aço galvanizado 4 " para captação da fumaça chaminé	R\$	900,00
3.4	Estrutura de acesso a chaminé	R\$	2.850,00
3.5	Serviços de Tornearia	R\$	650,00
3.6	Serviços de Solda	R\$	900,00
3.7	Materiais Diversos - Parafusos, materiais de vedação, fixação e etc...	R\$	150,00

<b>ETAPA</b>			
<b>4</b>	<b>INSTALAÇÃO DOS FOTOBIOREADORES "IN LOCO"</b>	<b>R\$</b>	<b>2.300,00</b>
4.1	Serviço de caminhão munk	R\$	1.350,00
4.2	Montagem de abrigo para Paineis e area de trabalho	R\$	950,00
<b>CUSTO TOTAL MATERIAIS</b>		<b>R\$</b>	<b>45.942,49</b>

### ANEXO 03

## DIAGRAMA LADDER DO PROGRAMA DE AUTOMAÇÃO

