

UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU

Fabio Pessoa de Lucena
João Pedro Coelho Rufino
Lucas Torres Pinto

PROPOSTA DE SIMULAÇÃO DO CONTROLE DE
TRATAMENTO DE AR PARA LEITO DE ISOLAMENTO
HOSPITALAR COM PROPOSTA MODULAR

São Paulo

2021

Fabio Pessoa de Lucena
João Pedro Coelho Rufino
Lucas Torres Pinto

PROPOSTA DE SIMULAÇÃO DO CONTROLE DE
TRATAMENTO DE AR PARA LEITO DE ISOLAMENTO
HOSPITALAR COM PROPOSTA MODULAR

Monografia apresentada à
Universidade São Judas Tadeu,
como requisito parcial para a
obtenção do título de Engenheiro de
Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Carlos López
Noriega

São Paulo

2021

FICHA DE APROVAÇÃO

Data: 30/11/2021

Horário: 19:00

Sala: 503 B

Título: _____

Nome completo dos alunos	RA
Fabio Pessoa de Lucena	201505099
João Pedro Coelho Rufino	201312475
Lucas Torres Pinto	201103724

Observações sobre o trabalho:

Professores da Banca examinadora	Assinatura
Prof. Dr. Carlos López Noriega	
Prof. Dr. Fernando Trevisan	
Prof. Me. Mairlos Parra Navarro	

Resultado: _____

DEDICATÓRIA

Um caminho nunca é feito por um só. Dedicamos esse trabalho a todas as pessoas envolvidas diretamente e indiretamente. Que pudemos nos apoiar e ir longe.

RESUMO

Devido ao acontecimento de uma pandemia em escala global, foi necessário que novas medidas de saúde fossem tomadas para combater a propagação da doença COVID-19. Uma das estratégias adotadas pelos governos para evitar o colapso do sistema de saúde, foi a construção emergencial de hospitais de campanha, proporcionando assim novos leitos para pacientes infectados. A contrapartida da aplicação desses hospitais de campanha comuns em casos de doenças transmissíveis, como COVID-19, é que o paciente fica internado em uma espécie de enfermaria, quando na verdade deveria ficar internado em um leito de isolamento com tratamento de ar e pressão negativa, conforme regulamenta a norma NBR7256.

Como proposta de solução para essa deficiência, nosso projeto tem o objetivo de apresentar uma alternativa modular de unidade de tratamento de ar, além de desenvolver um sistema de controle de temperatura, umidade e pressão.

Pensando na individualização dos leitos e na possibilidade de deslocar a estrutura para qualquer lugar, optamos por utilizar um container em sua construção, dividindo-o em duas metades, uma dedicada ao ambiente controlado e outra dedicada à casa de máquinas. A unidade de tratamento de ar também foi pensada de forma individual, onde optamos por um condicionador de ar de expansão direta, ou seja, dispensando a necessidade de uma central de água gelada (CAG).

O Sistema de controle foi desenvolvido para atender automaticamente os parâmetros pré-estabelecidos de acordo com a norma, sendo composto por sensores periféricos, um controlador lógico programável (CLP) e uma interface homem máquina (IHM).

Os resultados apresentados foram obtidos através de um ambiente virtual de simulação. Os controles de temperatura, umidade e pressão foram satisfatórios, atendendo os parâmetros pré-definidos. A proposta de utilização de container para construção do leito modular se mostrou adequada, permitindo o transporte do módulo completo para qualquer lugar.

Palavras-chave: Controle; COVID-19, Automação; Leito de Isolamento; UTA.

ABSTRACT

Due to the occurrence of a pandemic on a global scale, it was necessary that new health measures were taken to combat the spread of the COVID-19 illness. One of the strategies adopted by governments to avoid the collapse of the health system was the emergency construction of field hospitals, thus providing new beds for infected patients. The counterpart of the application of these common field hospitals in cases of communicable diseases, such as COVID-19, is that the patient is hospitalized in a kind of ward, when in fact he should be hospitalized in an isolation bed with air treatment and negative pressure, as regulated by standard NBR7256.

As a solution to this deficiency, our project aims to present a modular alternative for an air treatment unit, in addition to developing a temperature, humidity and pressure control system.

Thinking about the individualization of beds and the possibility of moving the structure anywhere, we chose to use a container in its construction, dividing it into two halves, one dedicated to the controlled environment and the other dedicated to the engine room. The air treatment unit was also designed individually, where we opted for a direct expansion air conditioner, that is, eliminating the need for a chilled water system.

The Control System was developed to automatically meet the pre-established parameters according to the standard, being composed of peripheral sensors, a programmable logic controller (PLC) and a human machine interface (HMI).

The results presented were obtained through a virtual simulation environment. The temperature, humidity and pressure controls were satisfactory, meeting the predefined parameters. The proposal to use a container for the construction of the modular bed proved to be adequate, allowing the complete module to be transported anywhere.

Keywords: Control; COVID-19; Automation; Isolation Bed; AHU.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Adaptado - Variação de curva epidémica (Schuchmann, et al., 2020).....	13
Figura 2 – Situação/nível no Estado por Macrorregiões de saúde (Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, 2020)	14
Figura 3 – Ações a serem desenvolvidas de acordo com a Situação e Nível (Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, 2020).....	15
Figura 4 – Hospital de Campanha Santo André (ABCDOABC)	16
Figura 5 – Unidade de Tratamento de Ar (Autor)	20
Figura 6 – Representação da lógica E em tabela verdade (Güntzel & Nascimento, 2001)	22
Figura 7 – Adaptado – Container de 40 pés (BR Containers, 2017)	23
Figura 8 – Estrutura de Automação (Autor)	27
Figura 9 – Rack PLC-A4 (Autor).....	30
Figura 10 – CPU-L55 e Cartão Ethernet (Autor)	30
Figura 11 – Switch Industrial (Autor).....	31
Figura 12 – IHM (Autor).....	31
Figura 13 – Tabela Verdade (Autor)	34
Figura 14 – Mapas de Karnaugh (Autor)	34
Figura 15 – Diagrama de Circuito Lógico (Autor)	35
Figura 16 – Sistema de pressão (Ogata, 2011)	36
Figura 17 – Paletas do XCOS (Autor)	38
Figura 18 – Malha fechada do sistema de insuflamento (Autor).....	39
Figura 19 – Bloco do sistema de exaustão (Autor)	40
Figura 20 – Tabela (Ogata)	40
Figura 21 – Simulação malha aberta da pressão de insuflamento (Autor).....	41
Figura 22 – Simulação malha aberta da pressão ambiente (Autor).....	41
Figura 23 – Insuflamento (Autor)	42
Figura 24 – Ambiente (Autor).....	43
Figura 25 – Insuflamento (Autor)	44
Figura 26 – Ambiente (Autor).....	44
Figura 27 – Tela do Studio5000 Emulate (Autor)	45
Figura 28 – Tela do Configure Drivers Rslinx (Autor)	46
Figura 29 – Tela de ambiente de comunicação RSLINX (Autor).....	46
Figura 30 – Tela de criação de projeto no RSLOGIX5000 (Autor)	47
Figura 31 – Tela de Controller Tags (Autor)	48
Figura 32 – Tarefas (Autor)	48
Figura 33 – Tela de chamada de sub-rotinas (Autor).....	49
Figura 34 – Tela de programação organizada e identificada (Autor).....	50
Figura 35 – Tela de bloco do PID da pressão (Autor)	51
Figura 36 – Ajuste das constantes de ganhos Kp, Ki, Kd para pressão (Autor)	51
Figura 37 – Equação de temperatura no CLP (Autor)	52
Figura 38 – Equação de umidade no CLP (Autor).....	52
Figura 39 - Equação de Pressão Insuflador no CLP (Autor).....	53
Figura 40 - Equação de Pressão Exaustor no CLP (Autor)	54
Figura 41 – Tela de Ambiente de criação FactoryTalk View (Autor)	55
Figura 42 – Tela de referência (Autor)	55
Figura 43 – Tela de gráficos (Autor)	56

Figura 44 – Lógica de acionamento de compressores (Autor).....	59
Figura 45 – Lógica de acionamento do aquecedor (Autor).....	60
Figura 46 – Gráfico de comportamento da temperatura (Autor).....	60
Figura 47 – Lógica de acionamento da desumidificação (Autor)	61
Figura 48 – Gráfico de comportamento da umidade (Autor)	62
Figura 49 – Gráfico de comportamento da pressão (Autor)	63
Figura 50 – Sistema de pressão de insuflamento sem controle (Autor).....	64
Figura 51 – Sistema de pressão de insuflamento com controle (Autor).....	64
Figura 52 – Sem controle PID (Autor)	65
Figura 53 – Com controle PID (Autor)	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensões de container (BR Containers, 2017)	23
Tabela 2 – Variáveis de Controle Digital (Autor)	33
Tabela 3 – Tabela de tempo (Autor)	42
Tabela 4 – Valores de ganhos PID (Autor)	43
Tabela 5 – Tabela Comparativo entre os casos 1 e 2	57
Tabela 6 – Potência dos equipamentos (Autor)	58

SUMÁRIO

1. Introdução.....	13
1.1. Justificativa.....	17
1.2. Objetivos	18
2. Revisão Teórica e bibliográfica	19
2.1. Alternativas à necessidade de leitos emergenciais.....	19
2.2. Normas para projeto do leito hospitalar.....	19
2.3. Unidade de tratamento de Ar e Container	20
2.3.1. Funcionamento da UTA.....	20
2.4. Álgebra Booleana	21
2.5. Container.....	22
2.6. PID	23
2.7. Ambiente Controlado de Simulação	24
2.7.1. Automação industrial e sua origem	25
2.7.2. Surgimento do Controlador Lógico Programável (CLP).....	25
2.7.3. Geração do CLP	25
2.8. Simulação física	26
2.8.1. RSLOGIX 5000	26
2.8.2. Factory Talk	27
2.8.3. RS LOGIX EMULATE	27
2.8.4. RSLinx	27
3. Materiais e Métodos	29
3.1. Materiais	29
3.1.1. Equipamentos de simulação	29
3.1.2. Fonte de alimentação CLP	29
3.1.3. Módulos de memória e comunicação	30
3.1.4. Switch	31
3.1.5. IHM.....	31
3.2. Controle de temperatura e umidade	32
3.2.1. Resfriamento.....	32
3.2.2. Aquecimento	32
3.2.3. Desumidificação	32
3.2.4. Umidificação.....	33

3.2.5.	Controle Digital.....	33
3.3.	Controle de Pressão	35
3.3.1.	Pressão de Insuflamento e Ambiente	37
3.4.	Sintonização Kp, Ki e Kd	40
3.5.	Desenvolvimento de Software	44
3.5.1.	Integração entre IHM e PLC	45
3.5.2.	Desenvolvimento da Lógica de Controle.....	47
3.5.3.	Bloco PID	50
3.5.4.	Cálculo de Feedback.....	52
3.5.5.	Desenvolvimento das Telas no Factory Talk View	54
3.6.	Comparativo.....	56
3.6.1.	Tamanho.....	57
3.6.2.	Capacidade de atendimento	57
3.6.3.	Potência elétrica.....	58
3.6.4.	Orçamento	58
4.	Resultados e discussão	59
4.1.	Temperatura.....	59
4.2.	Umidade	61
4.3.	Pressão	62
5.	Considerações finais.....	67
	Referências	69
	LISTA DE APÊNDICE.....	71
	APÊNDICE A – Descritivo funcional	71
	APÊNDICE B – Lista de Materiais.....	78

1. Introdução

"Em 31 de dezembro de 2019, a Organização Mundial da Saúde (OMS) foi alertada sobre vários casos de pneumonia na cidade de Wuhan, província de Hubei, na República Popular da China. Tratava-se de uma nova cepa (tipo) de coronavírus que não havia sido identificada antes em seres humanos. Uma semana depois, em 7 de janeiro de 2020, as autoridades chinesas confirmaram que haviam identificado um novo tipo de coronavírus. Os coronavírus estão por toda parte. Eles são a segunda principal causa de resfriado comum (após rinovírus) e, até as últimas décadas, raramente causavam doenças mais graves em humanos do que o resfriado comum. Ao todo, sete coronavírus humanos (HCoV) já foram identificados: HCoV-229E, HCoV-OC43, HCoV-NL63, HCoV-HKU1, SARS-COV (que causa síndrome respiratória aguda grave), MERS-COV (que causa síndrome respiratória do Oriente Médio) e o, mais recente, novo coronavírus (que no início foi temporariamente nomeado 2019-nCoV e, em 11 de fevereiro de 2020, recebeu o nome de SARS-CoV-2). Esse novo coronavírus é responsável por causar a doença COVID-19." (PAHO, 2021)

A doença COVID-19 foi caracterizada por alta transmissibilidade e culminou em uma pandemia global no primeiro mês de 2020, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS).

Por outro lado, caso as medidas de prevenção não fossem tomadas a tempo, a curva de contágio tenderia a seguir um comportamento mais íngreme, com crescimento exponencial do número de casos (Figura 1), já que a propagação do COVID-19 se mostrou muito rápida. Quanto mais íngreme for a curva, maior a chance de o sistema de saúde não conseguir atender o número de pessoas infectadas e, assim, entrar em colapso, como ocorrido em alguns países (Schuchmann, et al., 2020).

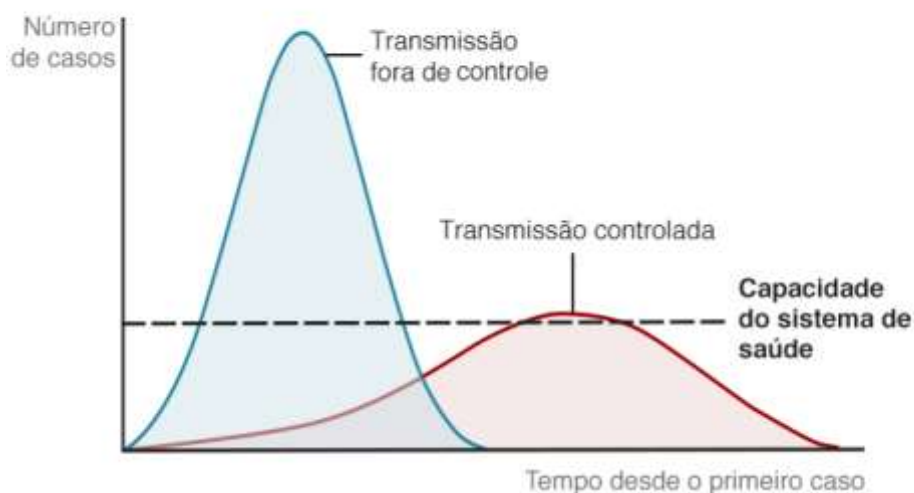


Figura 1 – Adaptado - Variação de curva epidêmica (Schuchmann, et al., 2020)

Os profissionais da saúde sofreram uma súbita alteração na rotina, o excesso de pacientes ocupando os serviços de saúde públicos e privados, levou a ação de alertar os órgãos sanitários competentes referentes a um crescente e gradual contágio na população (Ferrante, et al., 2021)

No Brasil, o governo de modo geral, tanto na esfera federal quanto nas estaduais, apresentaram debilidade na resposta à pandemia. A obscuridade em relação a essa situação, a falta de políticas nas aquisições de aparelhos respiratórios bem como dimensionamento dos recursos humanos trouxe como resultado complicações ao combate à pandemia (Santos, et al., 2020).

Uma das estratégias adotadas pelo governo para evitar o colapso do sistema de saúde, foi a construção de hospitais de campanha, que são centros de assistência médica construídos durante emergências de saúde pública, como a atual pandemia. Apresentam caráter temporário e geralmente são erguidos em locais não convencionais, como estádios de futebol e centros de convenção (Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, 2020).

Segundo o plano de contingência da SES-MG (Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, 2020) publicado em 14 de maio de 2020, o planejamento de hospitais de campanha deve acontecer na fase de contenção/mitigação desfavorável (situação 3 - nível 3) e a operação deve acontecer na fase de colapso (situação 5 - nível 5), como podemos observar nas Figura 2 e Figura 3 a seguir:

Contenção/Mitigação				Resposta	
Favorável Situação 0 - Nível 0	Menos favorável Situação 1 - Nível 1	Intermediário Situação 2 - Nível 2	Desfavorável Situação 3 - Nível 3	Mais desfavorável Situação 4 - Nível 3	Colapso Situação 5 - Nível 3
- Sem casos importados, confirmados ou suspeitos.	- Casos importados ou; - Até 5 casos confirmados ou; - 50 casos suspeitos.	- Transmissão local ou; - De 6 a 10 casos confirmados ou; - 100 casos suspeitos ou; - 1 paciente grave por COVID 19.	- Transmissão comunitária ou; - 11 ou mais casos confirmados ou; - 200 casos suspeitos ou; - 90% de ocupação dos leitos de UTI-SUS ou; - Ausência de leito de UTI ou; - 1 óbito por COVID 19.	- Acima de 90% dos leitos UTI-SUS ocupados no estado (rede pública e suplementar) ou indisponibilidade de leitos na macro região.	- Não há mais leitos no Estado ou; - Falta de locais para acondicionamento de corpos.

Figura 2 – Situação/nível no Estado por Macrorregiões de saúde (Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, 2020)

AÇÕES A SEREM REALIZADAS					
Favorável Situação 0 - Nível 0	Menos favorável Situação 1 - Nível 1	Intermediário Situação 2 - Nível 2	Desfavorável Situação 3 - Nível 3	Mais desfavorável Situação 4 - Nível 3	Colapso Situação 5 - Nível 3
- Conforme descritivo supramencionado.	- Permanência das ações da situação anterior; - Incremento de recursos humanos para atuar em resposta a incremento de ordem exponencial de casos de síndrome respiratória aguda grave (SRAG); - Suspensão do atendimento eletivo ambulatorial; - Confirmação de casos por exame laboratorial; - Suspensão temporária das aulas; - Fechamento de universidades/faculdades; - Divulgar informações a população e órgãos; - Convocação dos profissionais de saúde em férias; - Planejamento para as fases seguintes.	- Permanência das ações da situação anterior; - Classificar os casos para realização de cirurgias eletivas; - Suspensão de eventos independente do quantitativo de pessoas; - Elaborar escalas, considerando rodízio de funcionários que atuam na prestação de serviços essenciais, reduzindo o número de deslocamentos casa/trabalho; - Planejamento para as fases seguintes.	- Permanência das ações da situação anterior; - Suspensão do atendimento eletivo cirúrgico; - Compra de leitos por necessidade clínica; - Transformar leitos de outra natureza em CTI; - Confirmação de casos por critério clínico-epidemiológico; - Redução do deslocamento laboral; - Restrição de atividades comerciais não essenciais; - Suspensão permanente das aulas rede pública e privada exceto para os filhos de profissionais envolvidos em serviços essenciais; - Adotar medidas pra higienização dos veículos de transporte coletivo; - Planejamento de hospital de campanha; - Planejamento para as fases seguintes.	- Permanência das ações da situação anterior; - Quarentena da população com isolamento por parte das forças de segurança; - Amplificação das ações relativas ao manejo de corpos; - Férias coletivas industriais; - Planejamento para a fase seguinte.	- Permanência das ações da situação anterior; - Operacionalização do hospital de campanha.

Figura 3 – Ações a serem desenvolvidas de acordo com a Situação e Nível (Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, 2020)

Em 15 de março de 2021 o governo do Estado de SP anunciou a construção do 17º hospital de campanha. Na semana em questão a taxa de ocupação dos leitos de UTI chegava a 88,4% no estado e 90,0% na capital (R7, Portal, 2021).

Uma das premissas de um hospital de campanha é que sua construção seja realizada rapidamente em consequência da urgência (Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, 2020). A contrapartida da aplicação de hospitais de campanha comuns em casos de doenças transmissíveis, como COVID-19, é que o paciente precisa permanecer em um leito de isolamento com tratamento de ar, conforme regulamenta a norma NBR7256 - Tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS). Isso não acontece, pois os mesmos são construídos em estruturas com ventilação compartilhada, conforme a Figura 4. Na prática os pacientes infectados não se isolam, colocando todos que acessam o hospital em exposição ao vírus (CREMESP, 2020).

Além da alta taxa de ocupação dos leitos, o Conselho Regional de Medicina do Estado de São Paulo (CREMESP) aponta diversas irregularidades nesses hospitais de campanha. Em uma das fiscalizações no Hospital Municipal de Campanha do Anhembi, foi constatado um

único sistema de climatização para todas as enfermarias. Nessa adaptação não houve comprovação de minimizar o risco biológico ou a recirculação de ar, pondo em risco os pacientes e toda a equipe médica (CREMESP, 2020).



Figura 4 – Hospital de Campanha Santo André (ABCDOABC)

Segundo a matéria da CNN Brasil publicada em maio de 2020, a Guarda Civil Metropolitana (GCM) estava retirando pessoas ao redor de um dos hospitais de campanha, conforme orientação da Prefeitura de São Paulo. Os arredores são considerados como um risco biológico, e em alguns casos a Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) criou uma interdição demarcando regiões que não podem ser transitadas (CNN Brasil, 2020).

Empresas privadas, como a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) em parceria com a *Biotecam* (Biotecnologia e Ambiente) investem em soluções para o tratamento do ar, e um dos projetos foi o desenvolvimento de um filtro aerador para transformar o ar infectado com o vírus e bactérias em ar puro. O filtro recebe todo o ar que circula no hospital e canaliza para um reservatório que contém solução desinfetante, após esse tratamento o ar é oxigenado e liberado para a atmosfera (EMBRAPII, 2020).

A definição de simulação por (Filho & Scarpelini, 2007) estabelecem que é uma reprodução parcial ou total de uma função em um modelo artificial, conceituado como simulador. Pertinente a grande parte a aplicações práticas, que impliquem em competências manuais ou de decisões.

Segundo (Sofia, 2020): “a simulação e a modelagem, em geral, são atividade presentes na engenharia, pois permitem a previsão de parâmetros e dados antes da etapa de construção ou sem que sejam feitas alterações nos sistemas operantes”. Em análise de viabilidade técnica a simulação torna-se substancial no desenvolvimento de um método ou produto podendo reduzir custos e riscos para a indústria.

Alguns exemplos de simuladores aplicados nas engenharias, existem o Aspen Hysys e o Chem CAD, usando largamente em processos químicos, utilizados por estudantes e comércios (Sofia, 2020). MATLAB ferramenta de trabalho simplificado, baseado em tratamento de vetores e matrizes, utilizado por exemplo, para modelagem e simulação numérica, sistema de controle, processamento de sinais, imagem e visão computacional (MathWorks, 2021).

Uma alternativa a MATLAB é o XCOS da Scilab versão 6.1.1, trata-se de um software livre, que possui um editor gráfico para implementação de sistemas dinâmicos (Biblioteca Abraham Zacut, 2016), abrange sistemas como mecânicos, elétricos e circuitos hidráulicos (Scilab, 2021).

1.1. Justificativa

Sabe-se que a principal consequência da propagação mundial do COVID-19 é o colapso do sistema de saúde. O risco de superlotação de hospitais existentes deu origem à necessidade de recorrer a estrutura hospitalar de retaguarda, ou seja, construção de hospitais de campanha de forma paliativa, com o objetivo de prover novos leitos de internação para pacientes infectados (Schuchmann, et al., 2020).

A ABNT NBR 7256, que normatiza os requisitos mínimos para projeto e execução de instalações de tratamento de ar em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS), classifica leitos de isolamento como ambientes críticos de nível 3 e por sua vez exige um padrão de qualidade no tratamento do ar e nível de pressão negativa, visando principalmente diminuir o risco de contaminação de outros ambientes. O grande problema dos hospitais de campanha é

atender a estes requisitos, devido ao curto tempo de projeto e execução (FOLHA DE SÃO PAULO, 2020).

Um ambiente adequado aos pacientes é um local que traga conforto e que o tratamento de ar seja eficiente. Não deixando o ar contaminado se espalhar por corredores e para outras salas, evitando por exemplo, que um paciente que está se recuperando seja novamente contaminado (ANVISA, 2020).

Nossa proposta de solução para essa deficiência consiste em equipar um container com tecnologia de automação em HVAC independente de uma central de água gelada, utilizando uma unidade de refrigeração de expansão direta.

Para esta proposta foi desenvolvida uma solução de controle e automação em um ambiente simulado, com o intuito de controlar temperatura, umidade e pressão do leito de isolamento.

1.2. Objetivos

O objetivo geral do trabalho é simular um sistema de controle e automação do tratamento de ar em leitos de isolamento modulares. Para cumprir o objetivo geral, foram definidos os 3 objetivos específicos descritos a seguir:

1. Identificar os procedimentos e parâmetros que caracterizam os processos de simulação em uma unidade de tratamento de ar.
2. Desenvolver uma simulação que caracterize o controle das variáveis de temperatura umidade e pressão correspondente para o ar.
3. Comparar a modelagem de simulação proposta com RSLOGIX aplicado a um hospital de campanha.

2. Revisão Teórica e bibliográfica

Será discorrido nesse capítulo a revisão bibliográfica que envolve a simulação s normas de tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde e o conceito do sistema desenvolvido.

2.1. Alternativas à necessidade de leitos emergenciais

Com relação a adoção de estratégias para o combate a disseminação do COVID-19, Vitoria & Campos fazem menção de cinco estratégias: isolamento social, centrais de teleatendimento para que os pacientes sintomáticos não se desloquem sem necessidade transmitindo o vírus pelo país, salas de atendimento nas Unidades Básicas de Saúde (UBS), hospitais de campanha com leitos e gás de oxigênio para casos moderados e a ampliação dos leitos de Unidade de Terapia Intensiva (UTI) (Vitória & Campos).

Há a necessidade de mais leitos para atender a população. Os meios de comunicação como telejornais, blogs e sites de notícias mostram claramente a necessidade de ampliação de leitos de UTI e de enfermarias de isolamento (Vitória & Campos).

2.2. Normas para projeto do leito hospitalar

Tendo a necessidade de mais leitos, é necessário se enquadrar às normas técnicas de projeto. Pelo projeto abranger muitas normas, nos reservamos ao estudo do controle de ar do ambiente, composto pela tecnologia de tratamento de ar dentro do container.

Nem todos os sistemas de ar são adequados para isolamento de casos do COVID-19 (Neotti, 2020). Desta forma, especificamente será tratada a norma ABNT NBR7256 - Tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS). Nosso projeto se enquadra na classificação do risco de Nível 3 norma NBR 7256 item 5.2.2 d), inserindo-se na classificação de Quarto AII Sem Recirculação com faixa de temperatura de 20 a 24°C, e umidade relativa máxima de 60% e pressão negativa padronizada em -5Pa conforme o item 6.2.1 a) – ANEXO A Tabela A.2.

A norma também cita a eficiência dos filtros de ar, para filtros grossos, médios e finos, e para os filtros de alta eficiência ISO 35H – ANEXO B Tabela B1, B4, item 5.2.1, item 11.1.3, NBR 16101, e sua classificação NBR ISO 29463-1.

2.3. Unidade de tratamento de Ar e Container

Será abordado o funcionamento da UTA, as dimensões e capacidades de um container.

2.3.1. Funcionamento da UTA

A Unidade de Tratamento de Ar (UTA) é um equipamento de HVAC responsável pelo tratamento do ar e pelos controles de temperatura, umidade e pressão do ambiente. O sistema é composto por filtros (grosso, fino e absoluto), dois compressores, um aquecedor, um umidificador, um ventilador de insuflamento com variador de frequência e um exaustor com variador de frequência. Cada módulo da UTA é responsável por um tipo de tratamento, conforme a Figura 5 abaixo:

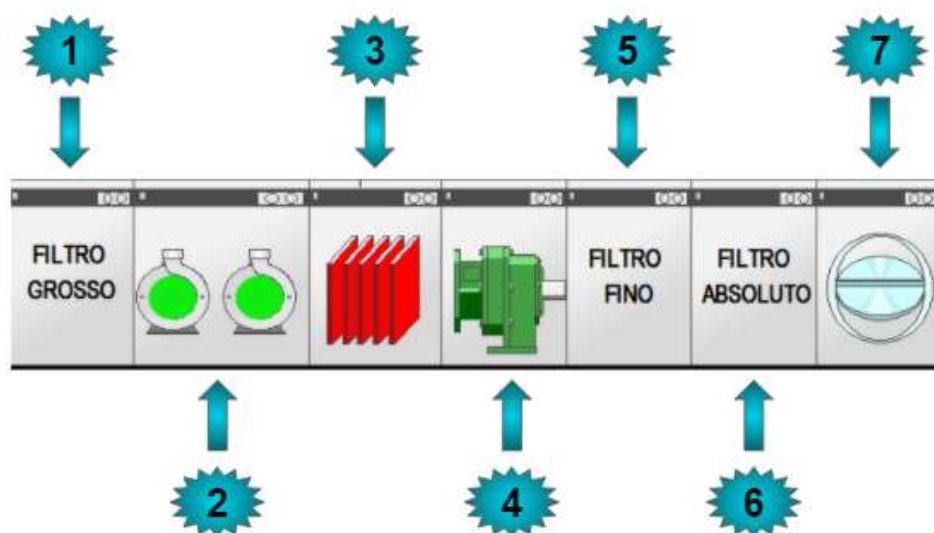


Figura 5 – Unidade de Tratamento de Ar (Autor)

1. Filtro Grosso: responsável pela filtragem de partículas grandes, funciona como pré-filtro para o filtro fino;
2. Compressores: responsáveis pelo resfriamento e desumidificação do ar;
3. Aquecedor: responsável pelo aquecimento do ar;
4. Ventilador: responsável pela ventilação de insuflamento;
5. Filtro fino: responsável pela filtragem de partículas finas funciona como pré-filtro para o filtro absoluto;
6. Filtro Absoluto: responsável pela filtragem de 99,9% de partículas de impurezas e eliminar com muita eficiência ácaros, bactérias e vírus do ar;
7. Umidificador: responsável pela umidificação do ar;

O funcionamento baseia-se nos princípios da termodinâmica, da mecânica dos fluídos e transferência de calor (RNAE, 2011), ocorre a aspiração do ar do ambiente externo passando por filtro simples, na sequência existe o compartimento de refrigeração, onde faz o resfriamento do ar, passando pelo ventilador principal ganhando pressão. O filtro *High Efficiency Particulate Air* (HEPA) são capazes de filtrar até 99,9% de partículas, são caracterizados pela espessura e pelo diâmetro das fibras. São de alta eficiência e exige esse ganho na pressão, pois oferece uma resistência considerável na passagem do ar, dependendo da demanda o aquecedor entra em funcionamento passando por último pelo umidificador antes de ser direcionado para o sistema de ar que descarrega nos ambientes controlados (AIR LINK, 2019).

2.4. Álgebra Booleana

Introduzido por George Boole, em 1854, uma álgebra para tratamento sistemático de lógica. “Uma álgebra Booleana pode ser definida com um conjunto de operadores e um conjunto de axiomas, que são assumidos verdadeiros sem necessidade de prova” (Güntzel & Nascimento, 2001).

Na álgebra cada variável pode assumir 2 valores como zero e um (0,1), ou ainda valores como verdadeiro ou falso (V,F), *high* e *low* (H,L). “Como o número de valores que cada variável pode assumir é finito (e pequeno), o número de estados que uma função Booleana pode

assumir também será finito, o que significa que podemos descrever completamente as funções Booleanas utilizando tabelas” (Güntzel & Nascimento, 2001), conforme a Figura 6 abaixo.

$0 \cdot 0$	$=$	0	
$0 \cdot 1$	$=$	0	
$1 \cdot 0$	$=$	0	
$1 \cdot 1$	$=$	1	

A	B	A·B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Figura 6 – Representação da lógica E em tabela verdade (Güntzel & Nascimento, 2001)

É um sistema simples, que na época de sua descoberta não foi muito utilizado devido ao uso do sistema binário, ganhou força quando surgiram os computadores, sua aplicação se tornou indispensável e sua teoria passou a ter aproveitamento prático (Tocci, Widmer, & Moss, 2011)

Operações de adição lógica representadas por “OU” ou “OR”. Pelo uma das variáveis deve possuir o valor 1, para que o resulte em 1. Para resultar em 0 todas as variáveis devem possuir o valor de 0.

Operações de multiplicação lógica, representadas por “E” ou “AND”. Para resultar em 1, todas as variáveis devem possuir o valor de 1. E para resultar em 0 pelo uma variável deve possuir o valor de 0.

E operações de complementação (inversão), por assumir apenas 2 valores, ele se torna o valor oposto, apresentados por uma barra em cima da variável, por exemplo \bar{A} (lê se A negado).

2.5. Container

Hoje os containers disponíveis são de 40 e 20 pés, os primeiros containeres, criados por Malcom McLean, eram de 33 pés. Dos containers de 20 e 40 pés, a diferença principal entre eles é o comprimento. Conforme a Tabela 1, o container de 20 pés, tem um comprimento interno de 5,9 metros, enquanto o container de 40 pés (Figura 7) atinge 12 metros (FAXCOMEX, 2021).

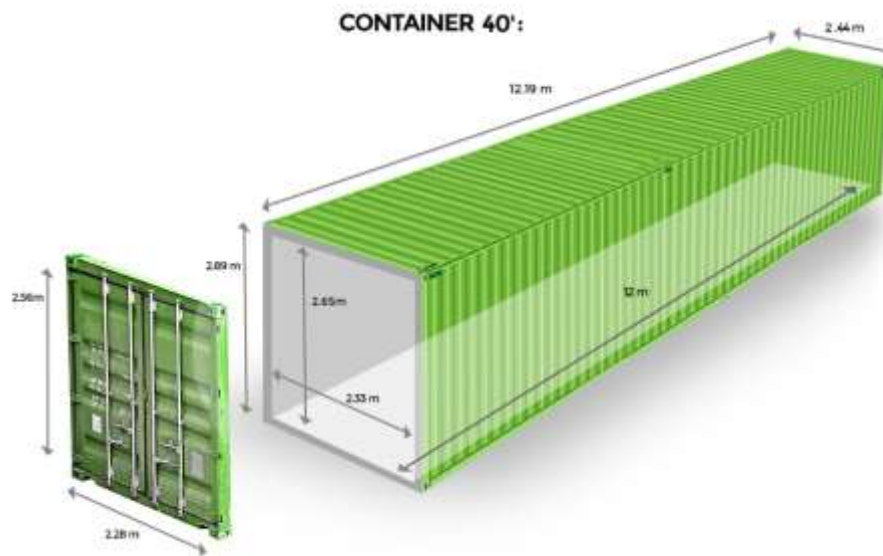


Figura 7 – Adaptado – Container de 40 pés (BR Containers, 2017)

Tamanho suficiente para acomodar um leito de UTI e os equipamentos para a modularização.

Tabela 1 – Dimensões de container (BR Containers, 2017)

Container	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Volume (m ³)	Capacidade (kg)
20 pés	5,900	2,350	2,393	33,2	24.000
40 pés	12,032	2,350	2,592	67,7	26.930

2.6. PID

O PID é um sistema de controle proporcional com ação integral e derivativa. Esse sistema ainda é o mais eficiente sistema de controle na atualidade. No decorrer desse artigo, veremos as ações P, I e D separadamente, e ficará mais fácil para compreender o controle PID (Barreto, 2019).

Proporcional

A componente proporcional depende apenas da diferença entre o ponto de ajuste e a variável de processo. Esta diferença é referida como o termo de erro. O ganho proporcional (K_c) determina a taxa de resposta de saída para o sinal de erro. Em geral, aumentando o ganho proporcional irá aumentar a velocidade da resposta do sistema de controle. No entanto, se o ganho proporcional é muito grande, a variável de processo começará a oscilar. Se K_c é aumentado ainda mais, as oscilações ficarão maior e o sistema ficará instável e poderá oscilar até mesmo fora de controle (Engineer Ambitiously, 2020).

Integral

A componente integral soma o termo de erro ao longo do tempo. O resultado é que mesmo um pequeno erro fará com que a componente integral aumente lentamente. A resposta integral irá aumentando ao longo do tempo a menos que o erro seja zero, portanto, o efeito é o de conduzir o erro de estado estacionário para zero (Engineer Ambitiously, 2020).

Derivativo

A componente derivada faz com que a saída diminua se a variável de processo está aumentando rapidamente. A derivada de resposta é proporcional à taxa de variação da variável de processo. Aumentar o parâmetro do tempo derivativo (T_d) fará com que o sistema de controle reaja mais fortemente à mudanças no parâmetro de erro aumentando a velocidade da resposta global de controle do sistema. Na prática, a maioria dos sistemas de controle utilizam o tempo derivativo (T_d) muito pequeno, pois a derivada de resposta é muito sensível ao ruído no sinal da variável de processo. Se o sinal de feedback do sensor é ruidoso ou se a taxa de malha de controle é muito lenta, a derivada de resposta pode tornar o sistema de controle instável (Engineer Ambitiously, 2020).

2.7. Ambiente Controlado de Simulação

Neste capítulo iremos abordar os principais pontos da evolução e história da automação industrial, modelagem e chegando na simulação do nosso sistema supervisório.

2.7.1. Automação industrial e sua origem

Os primeiros dispositivos semiautomáticos surgiram em meados do século XVIII na Inglaterra, inclusive foi daí que os sistemas de produção artesanal e agrário iniciaram sua transformação para industrial. Houve a necessidade de aumento de produção e com maior precisão comparada aos trabalhos feitos à mão, então no século XX os sistemas se tornaram inteiramente automáticos (SENAI, 2005).

2.7.2. Surgimento do Controlador Lógico Programável (CLP)

Com o objetivo de substituir os painéis de relés eletromecânicos, o CLP foi desenvolvido na década de 60 nos Estados Unidos. Os painéis de relé eram muito utilizados em automobilística para executar as lógicas combinacionais e sequenciais, o que apresentava muitos defeitos pelo contato repetitivo do acionamento (SENAI, 2005).

Para o projeto foram definidos 7 itens que o CLP deveria atender:

1. Usual de programação;
2. Facilidade de manutenção com conceito *plugin*;
3. Alta confiabilidade;
4. Dimensões menores que painéis de relés, para redução de custo;
5. Preço competitivo;
6. Expansão em módulos;
7. Mínimo de 4000 palavras na memória

Plugin: ferramenta ou extensão que se encaixa a outro programa principal para adicionar mais funções e recursos.

2.7.3. Geração do CLP

Na primeira geração de CLP a linguagem utilizada era *Assembly* e variava de acordo com o tipo de CLP. Sua programação era internamente ligada no *hardware* do equipamento, ou seja, era extremamente necessário conhecer o projeto de cada equipamento para poder fazer sua

manutenção. O programa era gravado em memórias *Erasable Programmable Read-Only Memory* (EPROM) junto com a construção do CLP (SENAI, 2005).

Na segunda geração começou a surgir as primeiras “Linguagens de programação” que não dependesse tanto do hardware, ou seja, nessa geração temos um “Programa monitor” no CLP, que abriu a possibilidade de verificar os estados das entradas e saídas, por comparação com ajuda de instruções matemáticas (SENAI, 2005).

Os técnicos carregavam maletas que eram os programas de memória EPROM, depois de programadas essas maletas eram carregadas na máquina (SENAI, 2005).

Já na terceira geração, é possível conectar um teclado ou um programador portátil, podendo apagar, alterar e gravar um programa, abrindo uma nova possibilidade que é testar o programa. A estrutura física sofre alterações para sistema com módulos (SENAI, 2005).

Na quarta geração, os microprocessadores que são utilizados no CLP já estavam inseridos totalmente na sociedade, com isso ficou mais acessível. O CLP tem sua porta de comunicação serial, além de representar várias linguagens, simulações e testes, podendo armazenar uma quantidade enorme de programas no micro (SENAI, 2005).

Na atual quinta geração a grande preocupação é padronizar os protocolos de comunicação, uma vez que cada empresa criou seu próprio protocolo de comunicação, não só com CLP, mas com redes internas de comunicação, sistemas supervisórios. Isso é fruto da chamada Globalização (SENAI, 2005).

2.8. Simulação física

Os simuladores permitem a simulação de todas as variáveis de entrada, saída e referências analógicas do sistema. Usando software de programação que possibilitam entender e visualizar como o sistema irá funcionar.

2.8.1. RSLOGIX 5000

O *software RSLogix 5000* é onde programamos nosso sistema. Nele é possível executar ou simular todas nossas entradas, saídas e referências digitais e analógicas. A sua estrutura de programação é em diagrama de contatos (*Ladder*), um tipo de linguagem onde permite o usuário

se comunicar com o CLP, a fim de definir tarefas que o mesmo deve executar (Rockwell Automation, 2012).

2.8.2. Factory Talk

O *Factory Talk* é um *software* que é fabricado pela *Rockwell Automation*, tem uma estrutura totalmente dedicada ao desenvolvimento e operação de aplicação da interface homem máquina (IHM). Foi desenvolvido para monitoração ou operação das máquinas industriais (Rockwell Automation, 2012).

2.8.3. RS LOGIX EMULATE

O *RSLogix Emulate* simula o comportamento das linhas de programação que estão dentro do *RSLogix 5000*. Sem a presença de um CLP físico você consegue testar todo o seu desenvolvimento de programação (Rockwell Automation, 2012). Conforme pode ser visto na Figura 8, temos a estrutura de automação entre os *softwares* utilizados na simulação.

2.8.4. RSLinx

Se você deseja executar uma ação que envolva o CLP e o computador, precisaremos obrigatoriamente criar uma conexão entre os dois equipamentos.



Figura 8 – Estrutura de Automação (Autor)

É isso que o RSLinx faz, uma “ponte” de comunicação que podemos até estruturar o programa (Figura 8), porém quando quisermos passar essas informações para o CLP não iremos conseguir se essa comunicação não for estabelecida anteriormente.

3. Materiais e Métodos

Abordaremos aspectos do sistema de controle (temperatura, umidade e pressão), simulação e parametrização. Apresentaremos os conceitos e comportamento do sistema, simulando cenário adverso e monitorando as variáveis controladas. Elaboramos um descritivo funcional do sistema, conforme APÊNDICE A.

3.1. Materiais

Para atingir nossos objetivos propostos e testar a simulação do controle do sistema, nesse capítulo serão descritos os materiais utilizados para a simulação do tratamento de ar, assim como os motivos de escolhas de cada equipamento e na coleta de dados.

3.1.1. Equipamentos de simulação

A ideia inicial era apresentar a simulação apenas no notebook. Entretanto conseguimos o fornecimento dos equipamentos como controlador lógico programável (CLP), interface homem máquina (IHM), módulo de gerenciamento de redes simples (SWITCH) e fonte de alimentação (24vdc) pela empresa RT ENGENHARIA. Desta forma podemos proporcionar uma melhor experiência de simulação.

3.1.2. Fonte de alimentação CLP

As fontes foram projetadas em rack como mostrado na Figura 9 somente para montagem em placa de montagem e na horizontal. Coloque qualquer módulo em qualquer *slot*. O *backplane* oferece um caminho de comunicação de alta velocidade entre os módulos (ROCKWELL AUTOMATION, 2017).



Figura 9 – Rack PLC-A4 (Autor)

3.1.3. Módulos de memória e comunicação

A L55 é um módulo de memória computacional afim de atender as necessidades de aplicação. Para comunicar os equipamentos utilizares a rede *Ethernet* que é uma tecnologia que conecta redes locais com fio (LANs) e permite que o dispositivo se comunique entre si através de um protocolo que é a linguagem de rede comum. Esta LAN é uma rede de computadores e outros dispositivos eletrônicos que cobrem uma pequena área em seus lugares como no escritório, casa, quarto ou edifício (Figura 10).



Figura 10 – CPU-L55 e Cartão Ethernet (Autor)

3.1.4. Switch

Um switch é um dispositivo que simplesmente conecta todos os elementos da sua rede. Ele atua como ponte ou unidade de controle para que computadores, impressoras, servidores e todos os outros tipos dispositivos possam se comunicar. Os switches (Figura 11) de rede às vezes são chamados de hubs de ponte, hubs de switch e pontes MAC, e geralmente são do tipo Ethernet (DLINK, 2020).



Figura 11 – Switch Industrial (Autor)

3.1.5. IHM

IHM é a sigla para Interface Homem Máquina (Figura 12). Como o próprio nome diz, o recurso atua como mediador da interação entre um operador e um sistema de automação. Na indústria, ela geralmente é utilizada em linhas de produção e em máquinas de propósitos variados (ALTUS, 2020).



Figura 12 – IHM (Autor)

3.2. Controle de temperatura e umidade

O controle de temperatura e umidade é feito automaticamente através de entradas analógicas e saídas digitais, podendo resfriar, aquecer, desumidificar ou umidificar o ar em função dos respectivos *setpoints*, caso não haja nenhum alarme que o impeça de funcionar. Em caso de falha nos sensores de referência, o aquecimento e a umidificação serão bloqueados por segurança. A referência do controle é o sensor de temperatura ambiente, código 22UTH-53, APENDICE B.

3.2.1. Resfriamento

O resfriamento será feito através do acionamento dos compressores em dois estágios. Os estágios serão acionados em função do desvio entre a temperatura ambiente atual e o *setpoint*. O primeiro estágio será acionado caso a temperatura ambiente esteja acima do *setpoint* e abaixo do diferencial. O segundo estágio será acionado caso a temperatura ambiente esteja acima do *setpoint* e acima do diferencial.

3.2.2. Aquecimento

O aquecimento será feito através do acionamento *on/off* do aquecedor caso a temperatura esteja abaixo do *setpoint*. Em caso de alarme no termostato, o aquecimento será bloqueado por segurança.

3.2.3. Desumidificação

A desumidificação será feita através do acionamento dos compressores em dois estágios. Os estágios serão acionados em função do desvio entre a umidade ambiente atual e o *setpoint*. O primeiro estágio será acionado caso a umidade ambiente esteja acima do *setpoint* e abaixo do diferencial. O segundo estágio será acionado caso a umidade ambiente esteja acima do *setpoint* e acima do diferencial.

3.2.4. Umidificação

A umidificação será feita através do acionamento *on/off* do umidificador caso a umidade esteja abaixo do *setpoint*. Em caso de alarme de falta de água na bacia, a umidificação será bloqueada por segurança.

3.2.5. Controle Digital

Como podemos observar nos tópicos anteriores os controles de resfriamento e desumidificação atuam nas mesmas saídas digitais correspondentes aos compressores 1 e 2, visando atender sempre o caso com maior desvio. Apresentaremos na Tabela 2 abaixo a relação de variáveis e o sistema de controle:

Tabela 2 – Variáveis de Controle Digital (Autor)

Variável	Tipo	Descrição
T1	Entrada	<i>Setpoint</i> de temperatura ambiente, é o valor referência que o sistema deve atingir, no caso definido em 22°C.
T2	Entrada	Soma do <i>setpoint</i> de temperatura com o valor de diferencial. O valor de diferencial também será pré-setado, no caso definido em 2°C, portanto a soma é igual à 24°C.
U1	Entrada	Soma do <i>setpoint</i> de umidade com o valor de diferencial.
U2	Entrada	<i>Setpoint</i> de umidade ambiente, é o valor referência que o sistema deve atingir, no caso definido em 50 % U.R.
C1	Saída	Acionamento <i>on /off</i> do 1º estágio, compressor 1.
C2	Saída	Acionamento <i>on /off</i> do 2º estágio, compressor 2.
A	Saída	Acionamento <i>on /off</i> do aquecedor.
U	Saída	Acionamento <i>on /off</i> do umidificador.

Após definidas as variáveis e condições de funcionamento, elaboramos a tabela verdade do controle digital, onde o número 0 representa nível lógico baixo, o número 1 representa nível lógico alto e a letra X representa uma condição inexistente, conforme Figura 13.

ENTRADAS				SAÍDAS			
T1	T2	U1	U2	C1	C2	A	U
0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	X	X	1	X
0	0	1	0	1	0	1	0
0	0	1	1	1	1	1	0
0	1	0	0	X	X	X	1
0	1	0	1	X	X	X	X
0	1	1	0	1	0	X	0
0	1	1	1	1	1	X	0
1	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	1	0	0	X
1	0	1	0	1	0	0	0
1	0	1	1	1	1	0	0
1	1	0	0	1	1	0	1
1	1	0	1	1	1	0	X
1	1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	0	0

Figura 13 – Tabela Verdade (Autor)

A tabela verdade elaborada apresenta quatro variáveis analógicas de entrada e quatro variáveis digitais de saída. Para extrair as expressões booleanas simplificadas de cada saída, utilizamos o método do Mapa de Karnaugh, conforme Figura 14.

MAPA DE KARNAUGH SAÍDA C1					MAPA DE KARNAUGH SAÍDA A				
T1 T2 / U1 U2	00	01	11	10	T1 T2 / U1 U2	00	01	11	10
00	0	X	1	1	00	1	1	1	1
01	X	X	1	1	01	X	X	X	X
11	1	1	1	1	11	0	0	0	0
10	1	1	1	1	10	0	0	0	0
$C1 = T1 + U1$					$A = T1$				
MAPA DE KARNAUGH SAÍDA C2					MAPA DE KARNAUGH SAÍDA U				
T1 T2 / U1 U2	00	01	11	10	T1 T2 / U1 U2	00	01	11	10
00	0	X	1	0	00	1	X	0	0
01	X	X	1	0	01	1	X	0	0
11	1	1	1	1	11	1	X	0	0
10	0	0	1	0	10	1	X	0	0
$C2 = (T1 \cdot T2) + (U1 \cdot U2)$					$U = \overline{U1}$				

Figura 14 – Mapas de Karnaugh (Autor)

As expressões booleanas foram extraídas através do método da soma de produtos, agrupando o maior número de saídas em nível lógico alto, incluindo as de valor X que podem ser interpretadas como nível lógico alto ou baixo.

Em seguida, elaboramos o diagrama de circuito lógico, composto por duas portas ANDs, duas portas ORs e duas portas NANDs. Para testar e representar o circuito, utilizamos ferramenta online CIRCUIT LAB, conforme a Figura 15.

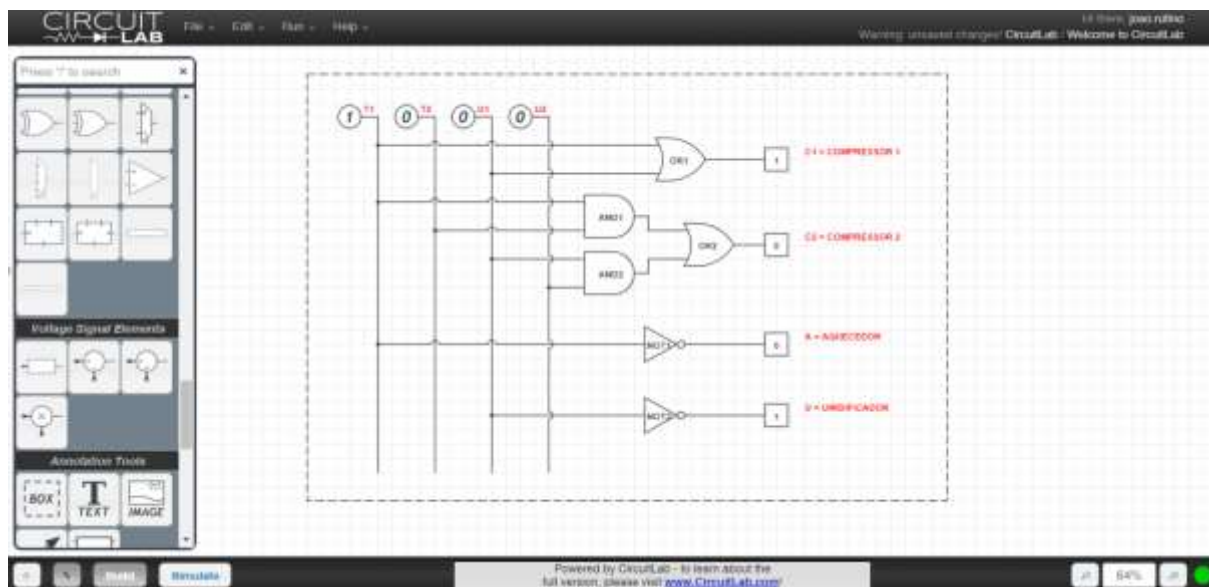


Figura 15 – Diagrama de Circuito Lógico (Autor)

3.3. Controle de Pressão

O controle do ventilador de insuflamento é realizado por PID, modulando seu variador de frequência em função do *setpoint* de pressão. Conforme os filtros vão saturando, a pressão tende a cair e consequentemente a modulação do ventilador tende a aumentar, buscando sempre o *setpoint* pré-determinado. Já o controle do exaustor também é realizado por PID, porém a modulação ocorre de acordo com a pressão diferencial entre ambiente controlado e o ambiente externo, buscando sempre manter o *setpoint* pré-estabelecido de -5 Pa, mantendo assim a sala com pressão negativa, necessária para evitar que microrganismos suspensos no ar vazem pelas portas e janelas do ambiente controlado, tornando-o mais seguro. Em caso de falha dos sensores de pressão de insuflamento e pressão ambiente, a pressão tende ao valor do ambiente externo.

Nos modelos pneumáticos propostos por Ogata conforme a Figura 16, o sistema de pressão a seguir, admitindo apenas pequenos desvios nas variáveis a partir de seus respectivos valores em regime permanente, então esse sistema pode ser considerado linear.

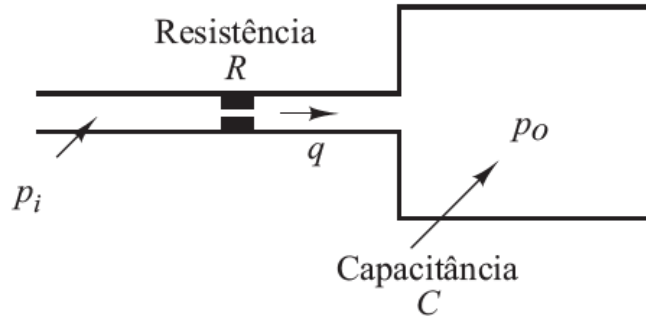


Figura 16 – Sistema de pressão (Ogata, 2011)

Algumas definições

P_i = pressão do ar no fluxo de entrada, N/m²

P_o = pressão do ar na saída, N/m²

R = resistência de sistema de pressão, N s/m² kg

C = capacitância de sistema de pressão, kg m²/N

Temos a função de transferência:

$$G(s) = \frac{P_o(s)}{P_i(s)} = \frac{1}{RCs + 1}$$

Sendo R e C :

$$R = \frac{d(\Delta P)}{dq} \left[\frac{N/m^2}{kg/s} \right]$$

e

$$C = \frac{dm}{dp} = V \frac{d\rho}{dp} \left[\frac{kg}{N/m^2} \right]$$

Definições:

$d(\Delta p)$ = diferença de pressão causado pelos filtros, N/m²

dq = vazão mássica do ar, kg/s

$d\rho$ = densidade do ar, kg/m³

V = volume do ambiente, m³

dp = variação de pressão, N/m²

Logo:

$$\frac{P_o(s)}{P_i(s)} = \frac{1}{\left(\frac{d(\Delta P)}{dq} V \frac{d\rho}{dp}\right) s + 1}$$

Substituindo a parcela que multiplica s por K , temos:

$$K = \frac{d(\Delta P)}{dq} V \frac{d\rho}{dp}$$

$$\frac{P_o(s)}{P_i(s)} = \frac{1}{Ks + 1}$$

3.3.1. Pressão de Insuflamento e Ambiente

Parâmetros utilizados na pressão de insuflamento, saturação dos filtros fino e absoluto respectivamente, 600 (Pa) e 500 (Pa), volume do container de 40 pés = 66,7 (m³) foi adotado a metade para o leito de UTI, 33,35 (m³). Considerando que não há alteração na densidade do ar, a densidade é de 1,2 (kg/m³), a vazão se mantém constante a 40,02 (kg/s) e pressão no duto de insuflamento 100 (Pa).

Substituindo pelos parâmetros, temos:

$$K = \frac{(600 + 500)}{40,02} 33,35 \frac{1,2}{(100)} = 11s$$

Sensor de pressão PT-100

O sensor de pressão do insuflamento está localizado entre o ventilador e os filtros fino e absoluto. Seu sinal varia de 0 a 10 V, sendo sua faixa de trabalho de 0 a 2500 Pa. Tempo de resposta varia 0,8 a 4s – APENDICE B.

Ganho do sensor de pressão:

$$H = \frac{\text{Sinal}}{\text{Faixa de trabalho}} = \frac{10 - 0}{2500 - 0} = 0,004 \left[\frac{V}{Pa} \right]$$

A função de transferência do sensor:

$$H(S) = \frac{0,004}{0,8s + 1}$$

Com essa função realimentamos o sistema fechando a malha.

Utilizamos o XCOS, elemento do programa Scilab na sua versão 6.2.0 para simular o comportamento da pressão de saída em função da pressão de entrada tendo os filtros fino e absoluto como resistência de pressão.

Aplicamos as seguintes paletas, conforme Figura 17.

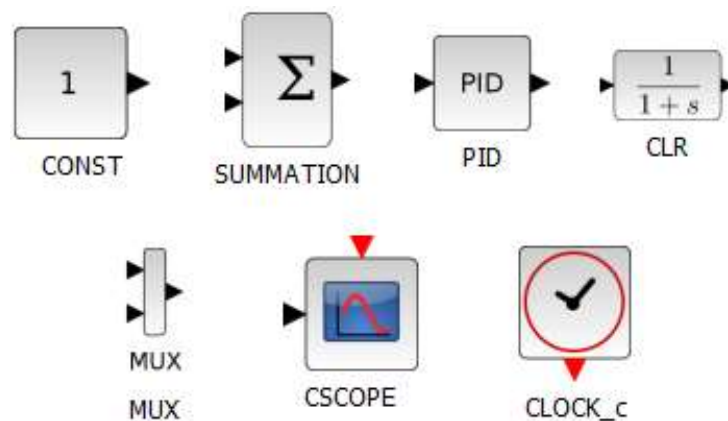


Figura 17 – Paletas do XCOS (Autor)

A paleta CONST armazena o valor do *setpoint* da pressão do duto de insuflamento normalizado em 100 Pa, o PID possui os valores de Kp, Ki e Kd, o CLR armazena as funções de transferências G(S) e H(S), o SUMMATION realimenta o sistema, o MUX simplifica a comparação dos sinais no gráfico, o CSCOPE gera o gráfico da pressão x tempo, configurado uma janela de tempo de 60s e é sintonizado pelo CLOCK_c, configurado um período de 0.01s e tempo de inicialização em 0s.

Podemos conferir na Figura 18 como fica a malha fechada do sistema de insuflamento.

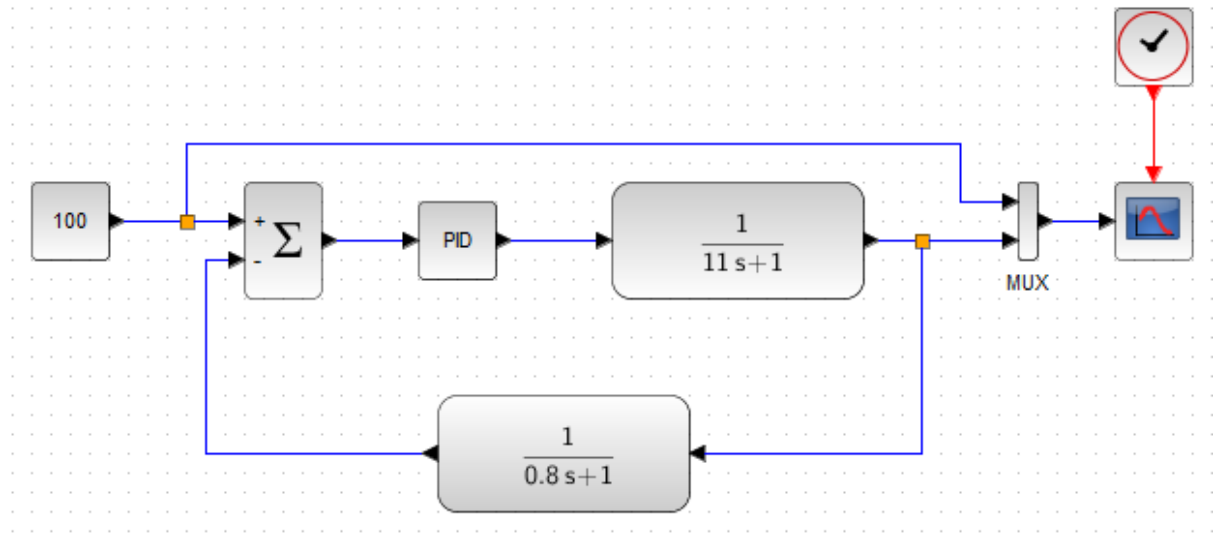


Figura 18 – Malha fechada do sistema de insuflamento (Autor)

Analogamente, para a pressão ambiente temos:

Do mesmo modo, o mecanismo de funcionamento da pressão de insuflamento se estende à pressão ambiente, alterando a referência para uma pressão de -5 Pa em relação a pressão de insuflamento.

Parâmetros utilizados na pressão ambiente, pressão de entrada 100 (Pa) e pressão de saída de 95 (Pa). Mesmo volume e quantidade de ar, sendo o volume de 33,35 (m³) e densidade de 1,2 (kg/m³) tendo uma vazão de 40,02 (kg/s).

Substituindo pelos parâmetros, temos:

$$K = \frac{(100 - 95)}{40,02} 33,35 \frac{1,2}{95} = 0,05$$

Podemos conferir na Figura 19 como fica a malha fechada do sistema do ambiente.

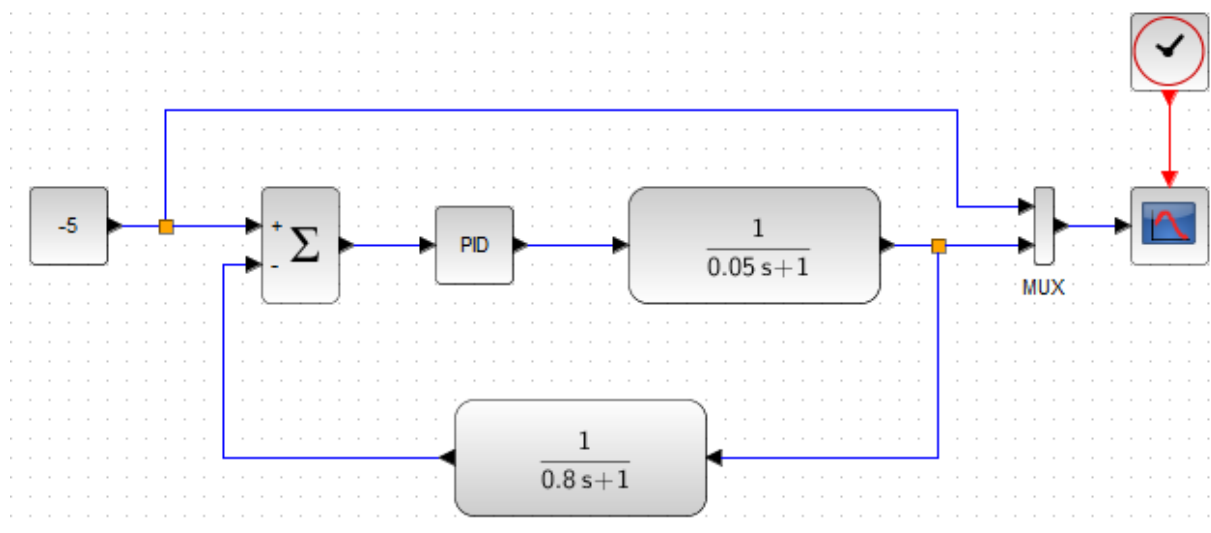


Figura 19 – Bloco do sistema de exaustão (Autor)

3.4. Sintonização K_p , K_i e K_d

Para a sintonização do sistema de pressão, foi utilizado o primeiro método de Ziegler-Nichols, tem-se a regra de sintonização conforme a Figura 20:

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5L$

Figura 20 – Tabela (Ogata)

Obtivemos os valores do tempo de atraso (L) e a constante de tempo (T) a partir das simulações das malhas aberta pressão de insuflamento e ambiente conforme gráficos da Figura 21 e Figura 22.

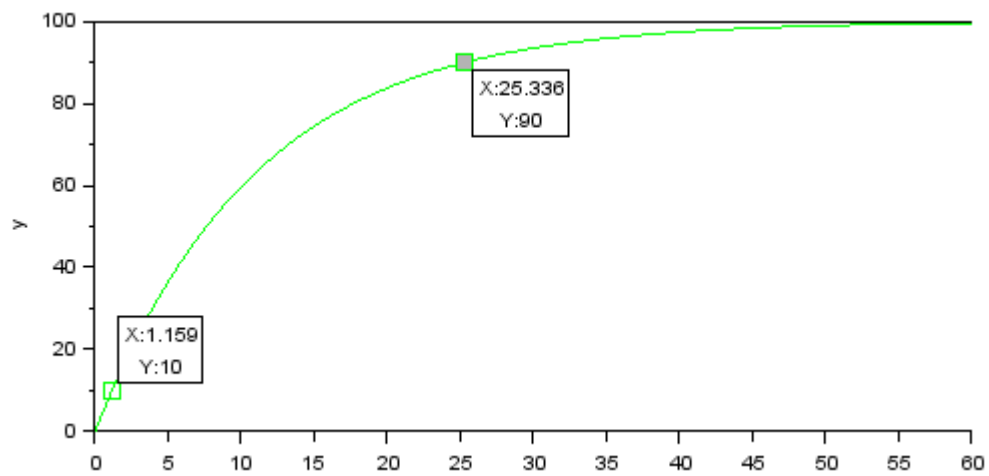


Figura 21 – Simulação malha aberta da pressão de insuflamento (Autor)

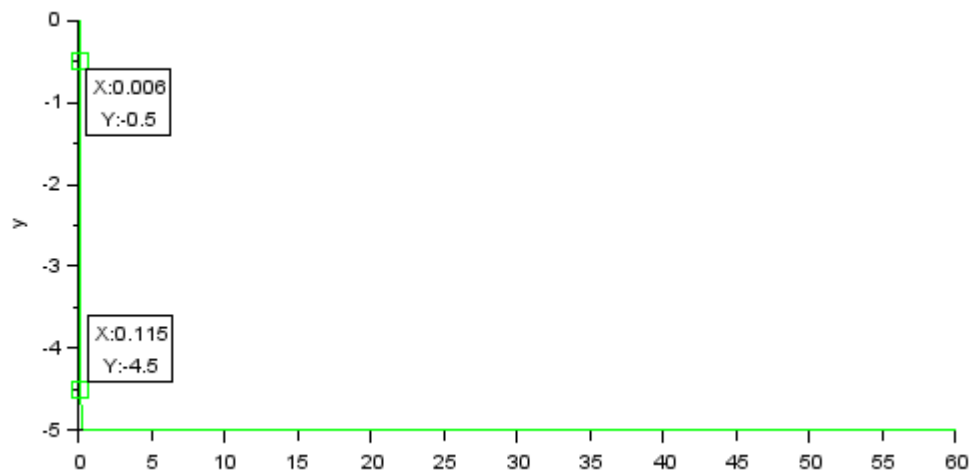


Figura 22 – Simulação malha aberta da pressão ambiente (Autor)

Tabelamos os valores de tempo de atraso L , e a constante de tempo T (Tabela 3):

Tabela 3 – Tabela de tempo (Autor)

Tipo	Tempo de Atraso (s)	Constante de Tempo (s)
Insuflamento	1,159	24,177
Ambiente	1,159	1

Foi efetuado os cálculos e sintonizado os valores conforme a regra de sintonia de Ziegler-Nichols, encontramos os valores abaixo:

Para insuflamento $K_p = 25,0$, $K_i = 2,3$ e $K_d = 0,6$.

Para ambiente $K_p = 21,8$, $K_i = 0,012$ e $K_d = 0,003$.

Simulamos os sistemas, e apresentaram os gráficos a seguir, conforme Figura 23 e Figura 24.

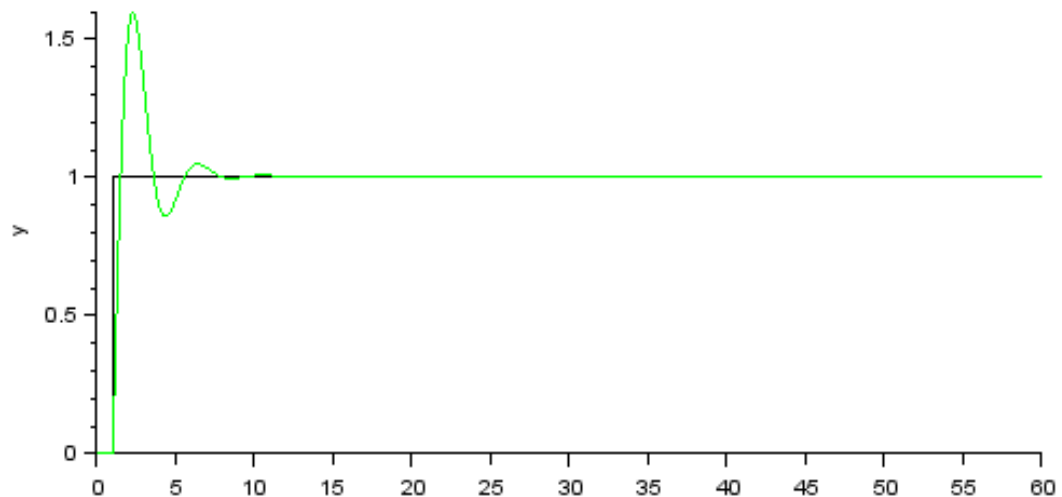


Figura 23 – Insuflamento (Autor)

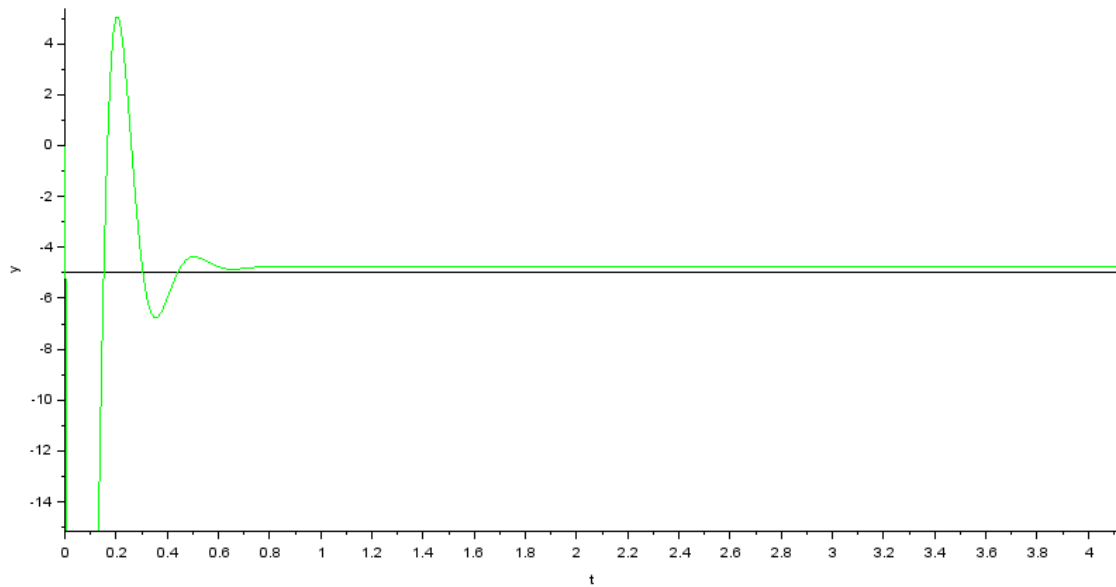


Figura 24 – Ambiente (Autor)

A partir dos valores encontrados pelo método de Ziegler-Nichols, ajustamos por tentativa e erro, uma vez que o método se baseia em diversas malhas com comportamentos semelhantes, portanto a regra vale para uma aproximação dos valores do PID, podendo sofrer ajustes. Por tentativa e erro, chegamos nos valores para K_p , K_i e K_d , conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de ganhos PID (Autor)

Tipo	K_p	K_i	K_d
Insuflamento	5,8	0,5	0,1
Ambiente	0,94	1,2	0,008

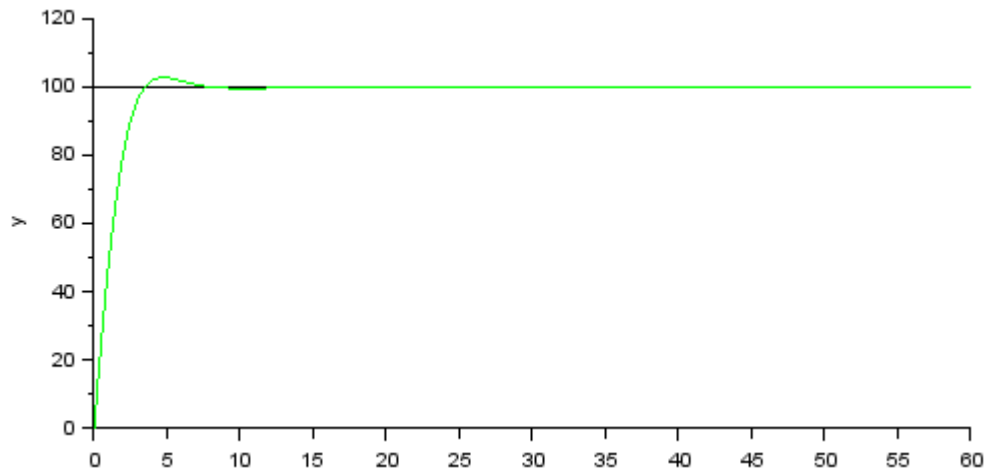


Figura 25 – Insuflamento (Autor)

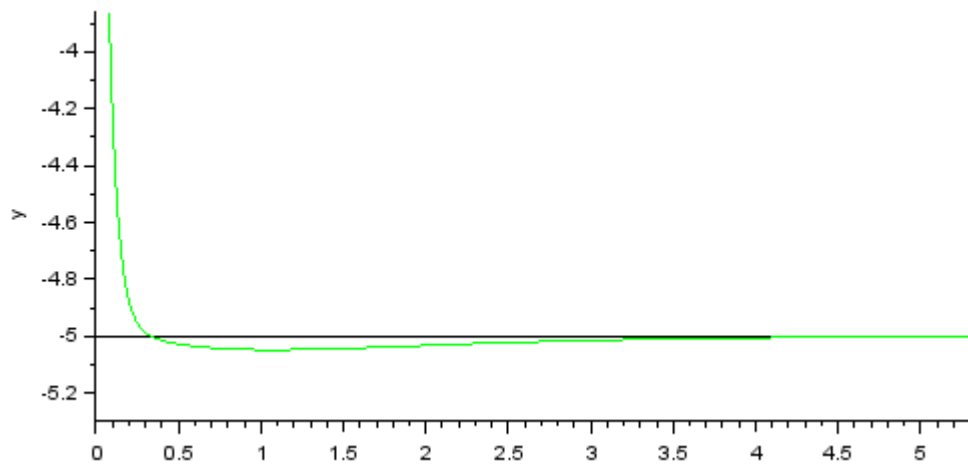


Figura 26 – Ambiente (Autor)

3.5. Desenvolvimento de Software

A lógica de programação foi simulada no software da *Rockwell Automation*, que substituiu os controladores físicos pelos controladores presentes na plataforma, sendo assim, os sensores que medem as suas variáveis principais e as válvulas de controle que atuam diretamente na planta foram simulados.

3.5.1. Integração entre IHM e PLC

Para o controle do PROJETO_TCC foi então utilizado o *RSLogix Emulate 5000*, software que simula um PLC sem o hardware físico, tornando possível realizar o controle em condições bem parecidas as quais um controlador real trabalharia.

Neste projeto o nome dado ao PLC simulado foi PROJETO_TCC. Não foi possível criar um projeto físico devido a pandemia e custos alto dos equipamentos, então iremos simular como se comportaria o sistema caso estivessemos com todo o hardware instalado. Para o controle do PROJETO_TCC foi então utilizado o *RSLogix Emulate 5000*, tornando possível realizar o controle em condições bem parecidas nas quais um sistema real trabalharia. Este módulo foi criado no slot 2 como mostra a Figura 27.

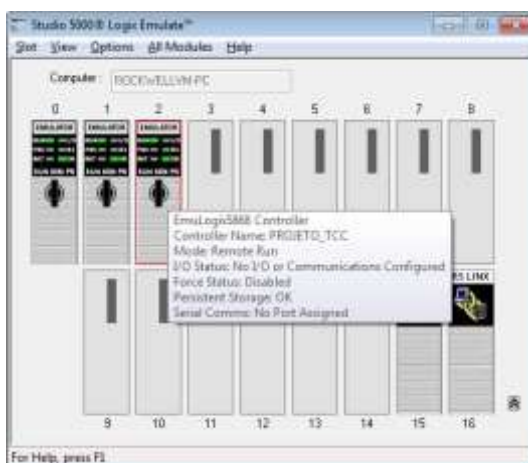


Figura 27 – Tela do Studio5000 Emulate (Autor)

Para integrar a IHM simulada no *Factory Talk* com a plataforma de softwares da *RsLogix 5000*, inicialmente deve-se acessar o *software RSLinx Classic Gateway* (responsável por criar a comunicação com a plataforma *Rockwell* com os dispositivos de automação através de drivers dos diversos protocolos de comunicação), navegar até a barra de tarefa *Communications* e clicar na opção *Configure Drivers* para criar um drive de comunicação do tipo *Virtual Backplane (Softlogix58xx, USB)* (Figura 28), que nada mais é que o drive que comunica o *RSLogix Emulate 5000* com o *software RSLogix 5000*.

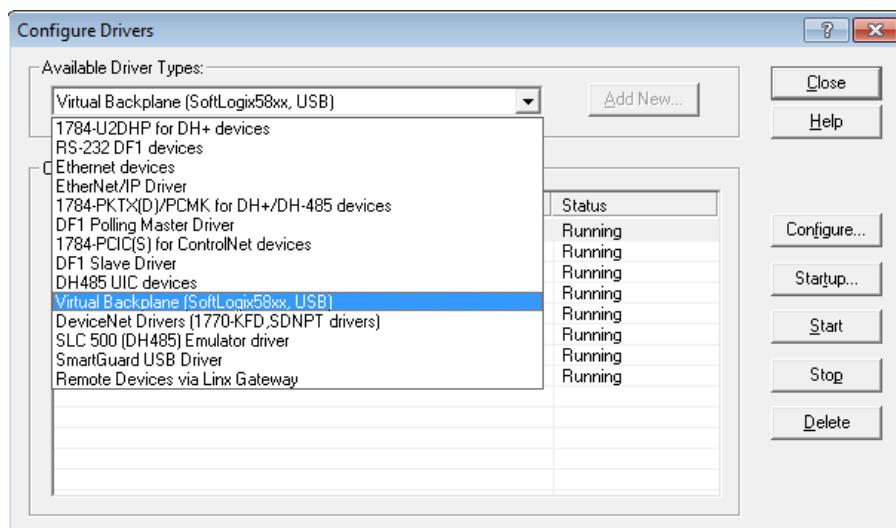


Figura 28 – Tela do Configure Drivers Rslinx (Autor)

Agora basta navegar até a janela *RSWho-1*, expandir o nó *AB_VPB1, 1789-A17/A Virtual Chassis* (Figura 29) para visualizar a arquitetura do *rack* simulado. Para realizar a comunicação do PLC simulado com outros dispositivos de automação. Feito isso foi estabelecida uma conexão com o chassi virtual.

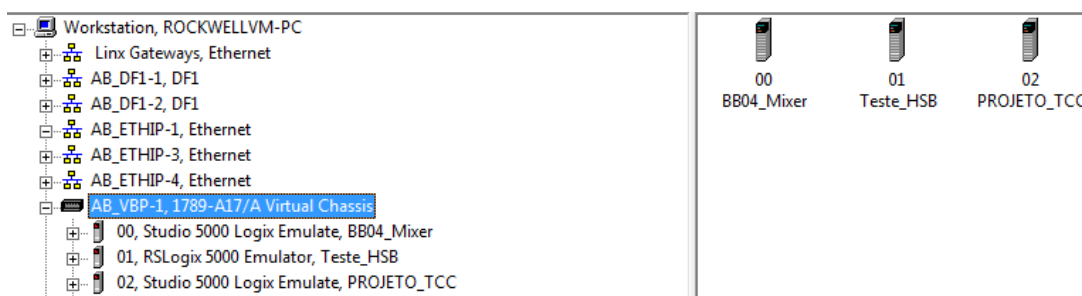


Figura 29 – Tela de ambiente de comunicação RSLINX (Autor)

3.5.2. Desenvolvimento da Lógica de Controle

O *RSLogix 5000* foi o *software* utilizado neste trabalho para o desenvolvimento da lógica do PLC emulado. Este software é usado na indústria para a programação de controladores da plataforma *Logix 5000* da fabricante *Allen-Bradley*.

O primeiro passo realizado neste *software* foi a criação de um novo projeto cujo nome dado foi PROJETO_TCC conforme mostrado na Figura 30. Escolheu-se a CPU do tipo *Emulator RSLogix Emulate 5000 Controller* revisão 32 alocada no slot 2 (mesmo slot onde foi criado o módulo do emulador no RSLogix Emulate 5000) do chassis 1756-A17 (chassis com espaço para 17 slots).

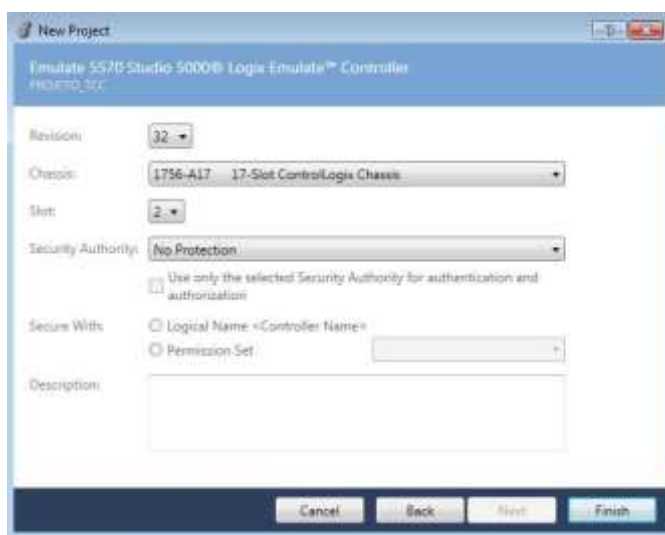


Figura 30 – Tela de criação de projeto no RSLOGIX5000 (Autor)

Criado o projeto PROJETO_TCC, deu-se início a lógica de programação no PLC onde as rotinas possuem linhas de código em diagrama *ladder* e também diagrama de blocos de funcionais.

O primeiro passo de uma lógica de programação no PLC é a criação das *tags* (variáveis presentes na lógica) através do *Controller Tags* (Figura 31) que além de criar também permite monitorar e editar as *tags*.

Name	Value	Force Mode	Style	Data Type
Auto_Abre_Vahula01	0	0	Decimal	BOOL
Auto_Abre_Vahula02	0	0	Decimal	BOOL
Auto_Abre_Vahula03	0	0	Decimal	BOOL
Auto_Abre_Vahula04	0	0	Decimal	BOOL
Auto_Abre_Vahula05	0	0	Decimal	BOOL
Auto_Abre_Vahula06	0	0	Decimal	BOOL
Auto_Abre_Vahula07	0	0	Decimal	BOOL
Assin_Vahula	0	0	Decimal	BOOL
Assinier_discharge	0	0	Decimal	BOOL
Assinier_Fill	0	0	Decimal	BOOL
c_haus	0	0	Decimal	BOOL
Clock_3_Seg	1	0	Decimal	BOOL
Cevd_Gear_Motor	0	0	Decimal	BOOL
Designe_Motor	0	0	Decimal	BOOL
discharge_ok	0	0	Decimal	BOOL
Fill_ok	0	0	Decimal	BOOL
Liqu_Motor	0	0	Decimal	BOOL
NA2_S1	[-]	[-]	[-]	PySide_Date
Mode_Automatico	0	0	Decimal	BOOL
Nivel_Reservatorio	30.46171	0	Float	REAL
Nivel_Reservatorio_Baixo	0	0	Decimal	BOOL
Nivel_Reservatorio_Chaos	0	0	Decimal	BOOL
Nivel_Reservatorio_MuitoBaixo	0	0	Decimal	BOOL
Nivel_Reservatorio02	100.438614	0	Float	REAL
Nivel_Reservatorio2_Baixo	0	0	Decimal	BOOL
Nivel_Reservatorio2_MuitoBaixo	0	0	Decimal	BOOL

Figura 31 – Tela de Controller Tags (Autor)

As *tags* representam os endereços físicos ou de memórias usados pelo PLC para trocar dados com outros dispositivos de automação. Neste trabalho as *tags* são usadas para compartilhar informações entre PLC, e *Factory Talk*. Para o sistema efetuar a leitura e escrita, através do *RSLinx*, das *tags* do PLC, estas devem estar escritas (no *FactoryTalk View*) da seguinte forma: [Nome do Servidor] Nome da Variável. Por exemplo [HVAC]TI_411. Desta mesma forma são escritos os itens na IHM a fim de tornar possível o compartilhamento de informações com o PLC.

A fim de organizar a lógica de programação e facilitar seu entendimento para quando um outro indivíduo for estudar a lógica, o programa tem três tarefas (*MainTask*, *MainProgram* e *P001_Simulacao* - Figura 32) que por sua vez são subdivididas em rotinas e sub-rotinas.

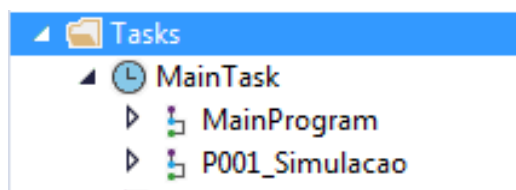


Figura 32 – Tarefas (Autor)

A *MainTask* trata-se da tarefa principal que é executada de forma contínua quando o PLC está funcionando normalmente. Nesta tarefa existe uma rotina principal, a *MainProgram* onde o objetivo é chamar as sub-rotinas desta tarefa (Figura 33).



Figura 33 – Tela de chamada de sub-rotinas (Autor)

Existem as sub-rotinas *Mirror_IN*, *Mirror_OUT*, comando e PID usadas para habilitar a lógica contida em cada tarefa presente na tela do sistema da IHM.

A tarefa *MainProgram* e *P001_Simulacao* são tarefas periódicas (executada a cada 10 microssegundos) onde existe a Chamada, que é a rotina principal cujo objetivo é permitir que as sub-rotinas desta tarefa sejam executadas pelo programa. Nesta tarefa existem 12 sub-rotinas (correspondendo a todas as variáveis existentes no sistema) nas quais o código foi desenvolvido em linhas de programação para que possamos construir o sistema de forma clara e organizada conforme a Figura 34.



Figura 34 – Tela de programação organizada e identificada (Autor)

A grande vantagem de se representar lógicas de controle por meio de diagramas ladder, é que permite ao profissional desenvolver “códigos” sem conhecimento prévio de outras lógicas, desde que esteja organizado e identificado como na Figura 34. Além disso, pode-se facilmente montar um circuito elétrico físico a partir do software e vice-versa.

3.5.3. Bloco PID

A utilização de controladores PID é bastante utilizada e abrangente. Suas combinações dos sinais de controle são capazes de fornecer graus aceitáveis de redução de erro, simultaneamente com amortecimento e estabilidade

A instrução PID tipicamente recebe a variável de processo (PV) a partir de um módulo de entrada analógica e modula uma saída de variável de controle (CV) em um módulo de saída analógica para manter a variável de processo no ponto de ajuste desejado no SetPoint (SP).

Em nosso projeto utilizaremos apenas um bloco PID para o controle da pressão como mostrado na Figura 35.

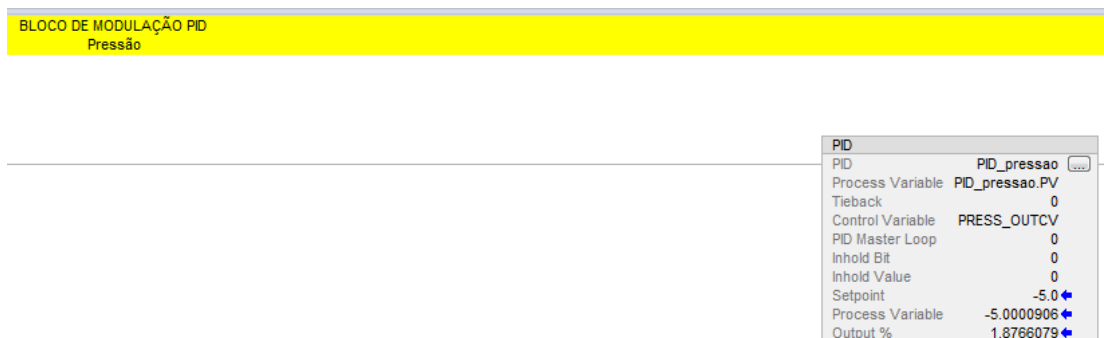


Figura 35 – Tela de bloco do PID da pressão (Autor)

Para poder executar o bloco PID deve-se inicialmente criar uma tag do tipo PID para adicionar no campo PID do bloco, uma *tag* (que recebe o valor da variável que se deseja controlar) do tipo real para ser adicionada no campo *Process Variable* e uma outra tag (que recebe o valor da saída do controlador) também do tipo real para ser adicionada no campo *Control Variable*.

Em controle de processos industriais é necessária a utilização de um controlador analógico. Sua função básica é avaliar os erros ou desvios das variáveis controladas no processo e enviar um sinal elétrico aos dispositivos diretamente relacionados com as mesmas, de forma a atuar no sistema corrigindo os erros ou desvios encontrados.

Para determinar o sinal de saída, o controlador precisa ser ajustado ao tipo de ação corretiva a ser aplicada no processo. Estas ações corretivas são determinadas ações de controle. Em testes feitos adotamos os valores de ganhos conforme a Figura 36.

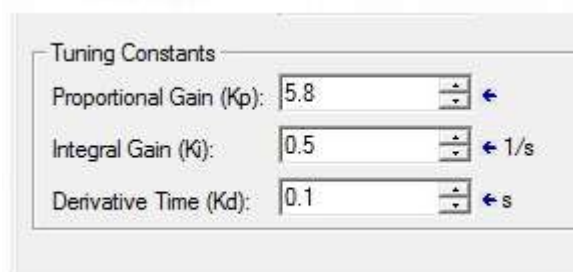


Figura 36 – Ajuste das constantes de ganhos Kp, Ki, Kd para pressão (Autor)

3.5.4. Cálculo de Feedback

Para simularmos um ambiente precisamos criar variáveis de processo de entrada e saída para que obtenhamos uma resposta para determinada aplicação.

3.3.4.1 Temperatura

A simulação da temperatura é calculada pela Figura 37, onde basicamente temos nossas influências de temperatura do aquecedor, compressor e temperatura externa. Este cálculo está localizado na R201_Temp_Atual.

```
7 TA_Atual := (TA_Temperatura - TA_Atual)*Ctrl_Ar*Ctrl_Aquecedor + (TA_Amb - TA_Atual)*Cte_Amb + TA_Atual;
```

Figura 37 – Equação de temperatura no CLP (Autor)

TA_Atual = Temperatura Atual do ambiente simulado;

TA_Temperatura = Temperatura do aquecedor (100°C) ou compressor(1°C);

Ctrl_Ar = Controle do sistema ligado (1) ou desligado (0);

Ctrl_Aquecedor = Valor da troca de calor entre o aquecedor e o ar (100%);

TA_Amb = Temperatura atual (31°C) do ambiente externo;

Cte_Amb = Constante de influência da temperatura externa (1%);

3.3.4.2 Umidade

A simulação da umidade é calculada pela Figura 38, onde basicamente temos nossas influências para umidificar, desumidificar e umidade externa. Este cálculo está localizado na R401_Umid_Atual.

```
UM_Atual := (UA_Controla - UM_Atual)*Ctrl_Ar*Ctrl_Aquecedor + (UM_Amb - UM_Atual)*Cte_Amb + UM_Atual;
```

Figura 38 – Equação de umidade no CLP (Autor)

UM_Atual = Umidade Atual do ambiente simulado;

UA_Control = Umidifica (100%) ou desumidifica (1%) o ambiente;

Ctrl_Ar = Controle do sistema ligado (1) ou desligado (0);

Ctrl_Aquecedor = Valor da troca de calor entre o aquecedor e o ar (100%);

UM_Amb = Umidade atual do ambiente externo (60%);

Cte_Amb = Constante de influência da temperatura externa (1%);

3.3.4.3 Pressão no Insuflador

A simulação da pressão é calculada pela Figura 39. Este cálculo está localizado na R401_Umid_Atual.

$$(Pressao_Insuflador - Pressao_Atual) * (Cte_Pressao_insuflador * (Freq_insuflador / 100.0) / (Cte_FiltroFino * 0.6 + Cte_FiltroAbsoluto * 0.4))$$

Figura 39 - Equação de Pressão Insuflador no CLP (Autor)

Pressão_Atual = Pressão Atual do ambiente simulado;

Pressão_insuflador = Valor da pressão do insuflador (20Pa);

Cte_Pressao_insuflador = Constante de pressão (100%);

Freq_insuflador = Valor da variação da frequência do insuflador (De 50% a 100%)

Cte_FiltroFino = Constante de filtro fino (165Pa a 600Pa);

Cte_FiltroAbsoluto = Constante de filtro absoluto (250Pa a 800Pa).

3.3.4.4 Pressão no Exaustor

A pressão do exaustor é calculada pela equação da Figura 40. Entretanto, ela faz parte do cálculo da pressão de insuflador.

```
(Pressao_Exaustor - Pressao_Atual)*(Cte_Pressao_Exaustor*(Freq_exaustor/100.0)) + (0 - Pressao_Atual)*Cte_PortaAberta;;
```

Figura 40 - Equação de Pressão Exaustor no CLP (Autor)

Pressão_Atual = Pressão Atual do ambiente simulado;

Pressão_ Exaustor = Valor da pressão do exaustor (20Pa);

Cte_Pressao_Exaustor = Constante de Exaustão (100%);

Freq_exaustor = Valor da variação da frequência do exaustor (20% a 40%);

Cte_PortaAberta = Constante de porta aberta (1) ou fechada (0).

3.5.5.Desenvolvimento das Telas no Factory Talk View

O software escolhido para o sistema neste trabalho foi o *FactoryTalk View Studio*, também da linha *Rockwell Automation*, que permite o desenvolvimento de interfaces homem-máquina. Neste ambiente de criação de supervisão e operação tem telas gráficas, tela de comando, relatório de alarmes, animações em tempo real.

O sistema com IHM é fundamental para a operação de um processo, pois apresenta uma grande praticidade para que o usuário tenha em um único ambiente o total controle de toda a planta ou até mesmo de toda a fábrica.

Para o desenvolvimento do sistema deu-se início a criação de uma tela principal que forneça ao usuário uma representação gráfica geral do processo presente no sistema HVAC (Figura 41). Esta tela deve representar de forma fiel o processo estudado, bem como todos os dispositivos e equipamentos existentes nas malhas conforme está presente na planta real.



Figura 41 – Tela de Ambiente de criação FactoryTalk View (Autor)

A tela de referência conforme a Figura 42, consiste em deixar a operação da simulação mais dinâmica e possível onde você pode visualizar as variáveis do sistema e mudar se for preciso o *setpoint*, visualizar a variação de todas as grandezas. Além de permitir monitorar e mudar a atuação de sensores apenas para simulação. Este acesso é recomendável apenas para coordenação e manutenção, por segurança e pelo bom funcionamento do sistema.

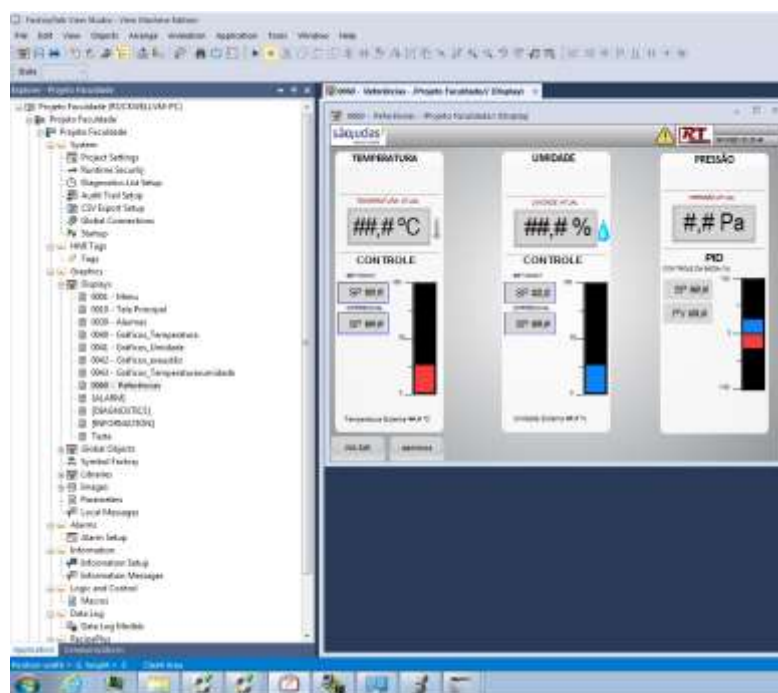


Figura 42 – Tela de referência (Autor)

A tela de Gráficos é a apresentação das variáveis em forma de gráficos que permite que você acompanhe como o sistema está se comportando em tempo real. Podendo identificar possíveis erros ou melhorias em determinado ponto do sistema. Podemos ver na Figura 43 como a curva de processo se comporta.

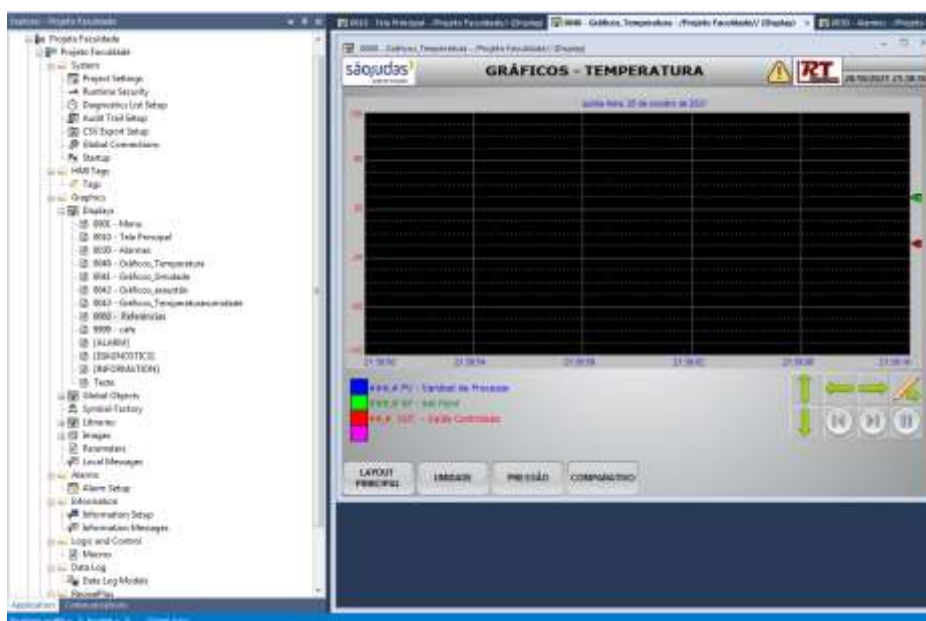


Figura 43 – Tela de gráficos (Autor)

3.6. Comparativo

Usaremos o hospital de campanha do Complexo Esportivo Dell'Antônia como estudo de caso para um comparativo com solução proposta em container. Entre as variáveis estão o tamanho, potência elétrica, capacidade de atendimento e orçamento alto (limitado aos aparelhos condicionadores de ar). O orçamento dos equipamentos hospitalares e materiais para as operações não foram levados em conta devido serem comuns em ambos os casos. Nesse comparativo, conforme Tabela 5, procuramos ser o mais justo, devido ao hospital de campanha comportar mais pacientes que o container modular, então há uma divisão do hospital de campanha pelas quantidades de leitos, possibilitando a comparação por leito. Adotaremos o hospital de campanha como caso 1 e a solução proposta como caso 2.

Tabela 5 – Tabela Comparativo entre os casos 1 e 2

Caso	Tamanho (m ²)	Capacidade de Atendimento (nº de pacientes a cada 28,4 m ²)	Potência (kW)	Orçamento de Implantação (R\$)
1	7,2	4	0,45	799,83
2	28,4	1	15,92	40.962,98

3.6.1. Tamanho

Hospitais de campanha, conforme mencionado pelo CREMESP, são locais abertos, sem ventilação adequada. No caso do Complexo Esportivo Dell'Antônia, foram construídos 180 leitos distribuídos em 3 ginásios poliesportivos. Sabendo que as dimensões oficiais de um ginásio poliesportivo são de 16m (largura) x 27m (comprimento) (Polyesportiva, 2021), utilizamos o seguinte método para calcular a área de cada leito: Multiplicamos as dimensões de um ginásio em razão do número de leitos.

$$\text{Caso 1 – Área: } 16 \times 27 \times 3 / 180 = 7,20 \text{ m}^2$$

No caso da solução proposta, o leito está dimensionado em 50% da área do container, porém a outra metade está sendo utilizado pela casa de máquinas. Sabendo que as dimensões do container de 40 pés são de 2,33m (largura) 12,19m (comprimento), utilizamos o seguinte método para calcular a área do leito: Calculamos a área do container.

$$\text{Caso 2 – Área: } 2,33 \times 12,19 = 28,4 \text{ m}^2$$

3.6.2. Capacidade de atendimento

A capacidade de atendimento dos hospitais de campanha varia conforme o local adaptado para tal finalidade. Analisando a comparação anterior entre caso 1 e caso 2, fica evidente que a área do leito do container corresponde a aproximadamente 2 vezes a área do hospital de campanha do Complexo Esportivo Dell'Antônia, porém temos que levar em consideração também a área da casa de máquinas que corresponde a outra metade da área do container. Sendo assim, temos uma relação de 4 para 1 entre o caso 1 e o caso 2.

3.6.3. Potência elétrica

Sobre potência, o comparativo é feito entre o consumo de energia de cada caso, conforme a Tabela 6. Não foi possível identificar o modelo de ar condicionado utilizado no caso 1, então vamos nos basear em um modelo semelhante de split com 30000 BTU, suficiente para atender o local. Com um total de 10 condicionadores de ar distribuídos para atender 60 leitos, multiplicamos a potência dos condicionadores pelo número de equipamentos e dividimos pelo número de leitos, a fim de calcular a potência elétrica por leito.

$$\text{Potência 1: } 2700 \times 10 / 60 = 450 \text{ w}$$

No caso da solução proposta, somamos a potência de cada equipamento, a fim de calcular a potência elétrica por leito.

Tabela 6 – Potência dos equipamentos (Autor)

Equipamento	Potência (W)
Self	6700
Exaustor	1170
Variador de frequência exaustor	1500
Variador de frequência exaustor	1500
Resistência de aquecimento	4800
Painel de controle	240

$$\text{Potência 2: } 6700 + 1170 + 1500 + 1500 + 4800 + 240 = 15.900 \text{ w}$$

3.6.4. Orçamento

Para comparação do orçamento, levamos em consideração apenas as despesas com equipamentos, pois não foi possível levantar nem estimar o orçamento dos materiais de construção. Para calcular o orçamento por leito do caso 1, multiplicamos o valor unitário (R\$ 4.799,00) de cada equipamento pelo número de equipamentos (10 unidades) de ar condicionado

estimados dentro do hospital de campanha e distribuimos o total pelo número de leitos (60 unidades):

Orçamento 1: $4799 \times 10 / 60 = \text{R\$ } 799,83$

No caso da solução proposta, somamos o valor de cada equipamento utilizado conforme APÊNDICE B - lista de materiais.

Orçamento 2: R\$40.962,98

4. Resultados e discussão

O projeto consiste em controlar as 3 grandezas sendo temperatura, umidade e pressão. Como se trata de uma simulação o objetivo é mostrar o comportamento do sistema para melhor entendimento.

4.1. Temperatura

De acordo com nossa tabela verdade representada na Figura 13 discutida anteriormente, o acionamento dos compressores usamos 2 blocos de comparação Figura 44 que se o *setpoint* estiver menor que o valor do ambiente, seja ele temperatura ou umidificação é acionado um dos compressores.

O acionamento de aquecimento se deve a lógica da Figura 45, onde se a temperatura do ambiente estiver abaixo do *setpoint* aciona o aquecedor.



Figura 44 – Lógica de acionamento de compressores (Autor)



Figura 45 – Lógica de acionamento do aquecedor (Autor)

Criamos um gráfico para exemplificar melhor a curva de temperatura em função do *setpoint* desejado (Figura 46). Mudamos o valor de temperatura de 30°C para 22°C de *setpoint* representado na cor verde. A monitoração da temperatura do ambiente é dada pela linha vermelha.



Figura 46 – Gráfico de comportamento da temperatura (Autor)

De acordo com a nossa simulação do sistema, a partir do momento em que há uma variação do *setpoint*, é levado aproximadamente 2 minutos para estabilizar a temperatura de acordo com o valor de *setpoint* estabelecido.

4.2. Umidade

De acordo com nossa tabela verdade representado na Figura 13 discutido anteriormente, o acionamento de desumidificar o sistema usamos a lógica da Figura 47, onde se a umidade ambiente estiver abaixo do *setpoint* é ligado a bobina de contato para energizar o desumidificador.



Figura 47 – Lógica de acionamento da desumidificação (Autor)

Conforme nosso gráfico, mudamos nossa umidade de 50% para 70% representado pela linha verde, para observarmos o comportamento da variável de umidade representado pela linha vermelha, conforme a Figura 48.

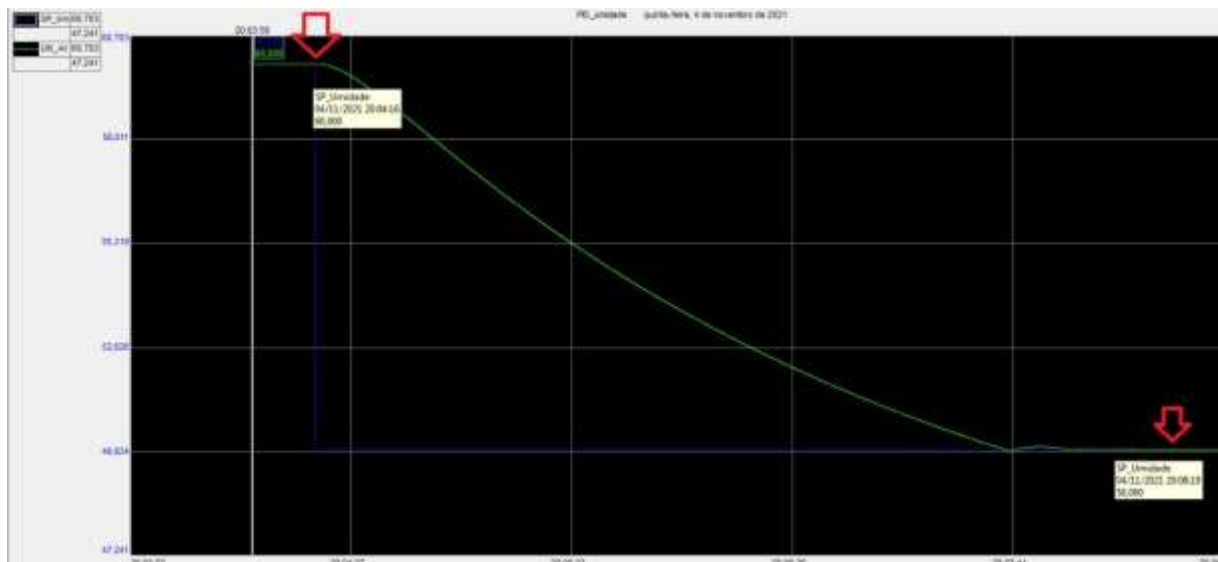


Figura 48 – Gráfico de comportamento da umidade (Autor)

De acordo com a nossa simulação do sistema, a partir do momento em que há uma variação do *setpoint*, é levado cerca de 4 minutos para estabilizar a umidade de acordo com o valor de *setpoint* estabelecido.

4.3. Pressão

Na grandeza de pressão utilizamos o bloco de PID para controlar a pressão, configurando seus ganhos para que pudéssemos representar da melhor forma o comportamento real.

Os ganhos de PID adquiridos através do método Ziegler-Nichols, foram calculados e posteriormente ajustados por tentativa e erro, desde que o engenheiro entenda o significado de cada parâmetro. Os valores de ganhos estão representados na Figura 36.

Os valores utilizados no bloco PID resultaram no gráfico da Figura 49 através desse método, como é uma grandeza instantânea a resposta do sistema fica rápida cerca de 14 segundos para entrar em regime permanente.

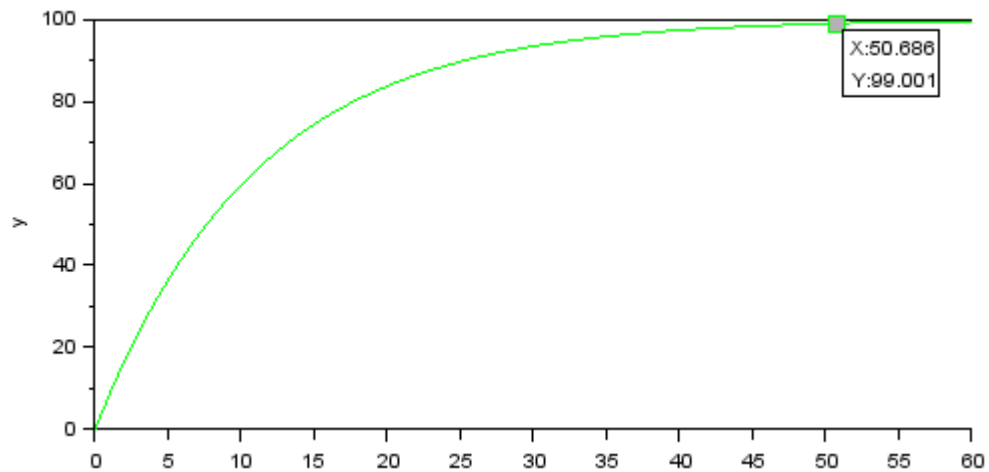


Figura 50 – Sistema de pressão de insuflamento sem controle (Autor)

Realimentando a malha com o sensor de pressão e aplicando o PID, conseguimos chegar no regime permanente mais rápido, temos um amortecimento suave em relação a falta de controle desse sistema. Chegamos no amortecimento esperado.

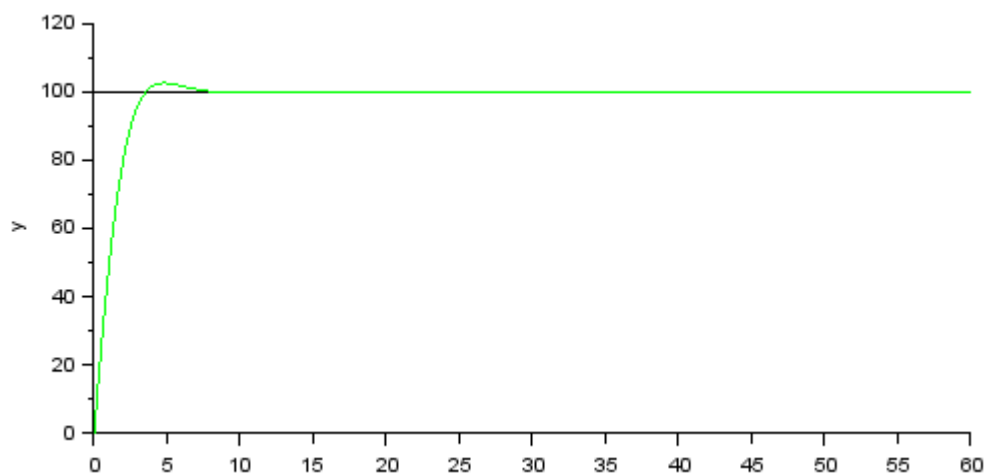


Figura 51 – Sistema de pressão de insuflamento com controle (Autor)

Para o sistema ambiente, a simulação sem o controle PID, também apresentou uma brusca resposta devido a sua baixa resistência de pressão.

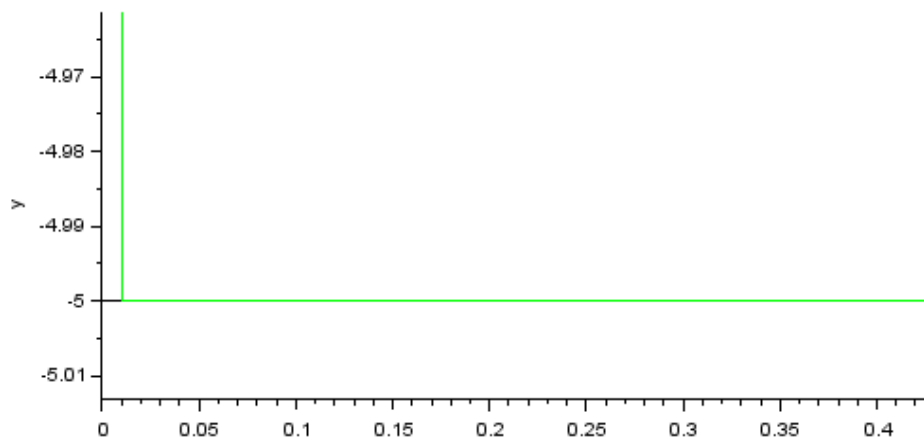


Figura 52 – Sem controle PID (Autor)

Após fechar a malha, sintonizamos inicialmente pelo método de Ziegler-Nichols, e ajustamos os valores de K_p , K_i e K_d a partir dos ganhos calculados conforme a Figura 53.

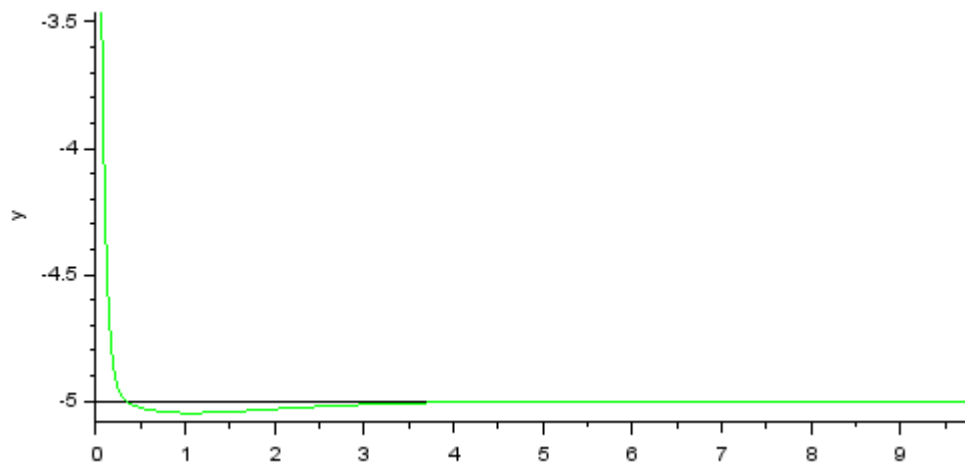


Figura 53 – Com controle PID (Autor)

5. Considerações finais

O presente trabalho de conclusão de curso avança no sentido de entender as questões hospitalares, entretanto um estudo de caso mais aprofundado no local não foi realizado devida a pandemia. Porém as variáveis encontradas se comportam de acordo com o sistema modelado.

Expomos as deficiências e uma proposta de um modelo de controle para sistemas de temperatura, umidade e pressão. Foram apresentados fundamentos teóricos para a compreensão do controle proposto, assim como a simulação do sistema utilizando softwares de programação.

A modelagem encontrada e posteriormente simulada, apresentou suas variáveis comportamentais de acordo com a análise prévia, os nossos parâmetros seguiram e se mantiveram no setup da configuração inicial. O modelo de programação é capaz de controlar a temperatura através do acionamento de compressores e aquecedor. A umidade é controlada também pelos compressores e pelo umidificador. A pressão é controlada através do bloco PID fundamentando sua função de transferência e posteriormente testada na simulação no software. Os resultados de simulação demonstram o comportamento das 3 grandezas, mostrando lógicas de programação, interface homem máquina (IHM), gráficos e cálculos.

Os parâmetros foram definidos para estabilização em regime permanente, em curtos intervalos de tempos para que pudesse facilitar a visualização. Em casos reais, alguns parâmetros como o de ganho do PID poderão ser ajustados para tempo de respostas maiores, assim como os cálculos de feedback para simular o ambiente precisariam ser excluídos da lógica para evitar conflitos.

Dessa forma utilizando containers modulares em caso de pandemia como foi mostrado nesse projeto ou de risco de saúde, podemos oferecer um alto nível de segurança para as pessoas se protegendo das doenças contagiosas tratando todo o ar que entra no container através dos ventiladores, umidade relativa do ar e pressão negativa.

Acreditamos que o orçamento previsto para a execução do projeto é superior ao valor de leito do estudo de caso 1, para um entendimento maior da aplicação financeira e entender os custos teria que ser feito um estudo no local. A principal vantagem do sistema é o tratamento do ar atendendo a norma regulamentadora, além de seguir o conceito plug and play, facilitando a sua mobilidade e implantação.

Enxergamos como principal desafio a redução do orçamento a fim de viabilizar a execução do projeto, mantendo a premissa de módulo completo individual e execução em curto prazo.

Referências

- ABCDOABC. (s.d.). *Notícias*. Fonte: ABCDOABC: Fonte: <https://www.abcdoabc.com.br/santo-andre/noticia/santo-andre-entrega-hospital-campanha-180-leitos-100069>
- AIR LINK. (9 de Março de 2017). *Entenda o que é HVAC e a importância do sistema para conforto térmico de ambiente*. Fonte: [airlinkfiltros: https://www.airlinkfiltros.com.br/artigos/entenda-o-que-e-hvac-e-importancia-do-sistema-para-conforto-termico-de-ambiente/](https://www.airlinkfiltros.com.br/artigos/entenda-o-que-e-hvac-e-importancia-do-sistema-para-conforto-termico-de-ambiente/)
- AIR LINK. (22 de 05 de 2019). *Entenda a importância dos filtros HEPA na microbiologia e seus benefícios*. Fonte: [Airlinkfiltros: https://www.airlinkfiltros.com.br/artigos/entenda-importancia-dos-filtros-hepa-na-microbiologia-e-seus-beneficios/](https://www.airlinkfiltros.com.br/artigos/entenda-importancia-dos-filtros-hepa-na-microbiologia-e-seus-beneficios/)
- ANVISA. (2020). *Anvisa*. Fonte: Anvisa: https://www.anvisa.gov.br/servicosaude/manuais/seguranca_hosp.pdf
- Benvenuto, D., Giovanetti, M., Ciccozzi, A., Spoto, S., Silvia, A., & Ciccozzi, M. (29 de 01 de 2020). *Wiley Online Library*. Fonte: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jmv.25688>
- Bojorge, N. (15 de 04 de 2017). *Álgebra de Diagramas de Blocos*. Fonte: [Professores.uff.br: https://www.professores.uff.br/ninoska/wp-content/uploads/sites/57/2017/08/Aula08_-_Control__Diagrama_Blocos.pdf](https://www.professores.uff.br/ninoska/wp-content/uploads/sites/57/2017/08/Aula08_-_Control__Diagrama_Blocos.pdf)
- BR Containers. (2017). *BR Containers*. Fonte: [projetocontainer: http://www.projetocontainer.com/medidas-de-containers](http://www.projetocontainer.com/medidas-de-containers)
- CNN Brasil. (3 de 5 de 2020). Fonte: <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/prefeitura-de-sp-pede-que-pessoas-evitem-os-arredores-dos-hospitais-de-campanha/>
- CREMESP. (12 de 06 de 2020). *CREMESP*. Fonte: [CREMESP: http://www.cremesp.org.br/?siteAcao=NoticiasC&id=5641](http://www.cremesp.org.br/?siteAcao=NoticiasC&id=5641)
- EMBRAPII. (6 de 4 de 2020). *EMBRAPII*. Fonte: <https://embrapii.org.br/embrapii-desenvolve-equipamento-para-filtrar-o-ar-de-hospitais-de-campanha-e-utis/>
- Engineer Ambitiously. (17 de 03 de 2020). *Explicando a Teoria PID*. Fonte: [NI: https://www.ni.com/pt-br/innovations/white-papers/06/pid-theory-explained.html](https://www.ni.com/pt-br/innovations/white-papers/06/pid-theory-explained.html)
- FAXCOMEX. (12 de 05 de 2021). *fazcomex.com.br*. Fonte: [fazcomex: https://www.fazcomex.com.br/blog/conheca-os-tipos-de-container/](https://www.fazcomex.com.br/blog/conheca-os-tipos-de-container/)
- Ferrante, L., Duczmal, L., Tupinambás, U., Steinmetz, W., Leão, J., Almeida, A., . . . Fearnside, P. (Abril de 2021). *researchgate.net*. Fonte: [researchgate: https://www.researchgate.net/profile/Lucas-Ferrante/publication/350637434_Nota_tecnica_Avaliacao_da_pandemia_de_COVID-19_em_Varginha_Minas_Gerais_necessidade_de_lockdown_e_medidas_mais_restritivas/links/606b1dc2458515614d3a1dd1/Nota-tecnica-Avaliacao-da-p](https://www.researchgate.net/profile/Lucas-Ferrante/publication/350637434_Nota_tecnica_Avaliacao_da_pandemia_de_COVID-19_em_Varginha_Minas_Gerais_necessidade_de_lockdown_e_medidas_mais_restritivas/links/606b1dc2458515614d3a1dd1/Nota-tecnica-Avaliacao-da-p)
- Figura do Autor. (s.d.).
- FOLHA DE SÃO PAULO. (31 de 8 de 2020). *Folha de São Paulo*. Fonte: <https://www1.folha.uol.com.br/seminariosfolha/2020/08/erros-de-planejamento-prejudicam-o-desempenho-de-hospitais-de-campanha.shtml>

- Neotti, L. D. (2020). *scholar.google.com/*. Fonte: scholar:
https://scholar.google.com/citations?user=lyP9wXkAAAAJ&hl=pt-BR#d=gs_md_cita-d&u=%2Fcitations%3Fview_op%3Dview_citation%26hl%3Dpt-BR%26user%3DlyP9wXkAAAAJ%26citation_for_view%3DlyP9wXkAAAAJ%3AljCSPb-OGe4C%26tzm%3D180
- Ogata, K. (2011). *ENGENHARIA DE CONTROLE MODERNO*. São Paulo: PEARSON.
- PAHO. (03 de 2021). *Histórico da pandemia de COVID-19*. Fonte: Paho:
<https://www.paho.org/pt/covid19/historico-da-pandemia-covid-19>
- Polyesportiva. (19 de 01 de 2021). *Saiba quais são as medidas oficiais de 9 tipos de quadras esportivas*. Fonte: polyesportiva: <https://polyesportiva.com.br/blog/51/saiba-quais-sao-as-medidas-oficiais-de-9-tipos-de-quadras-esportivas.html>
- R7, Portal. (15 de 03 de 2021). *Portal R7*. Fonte: <https://noticias.r7.com/sao-paulo/sp-tera-novo-hospital-de-campanha-para-pacientes-com-covid-19-15032021>
- RNAE. (2011). Eficiência Energética em Edifícios Públicos.
https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/4971/1/DM_InesAlbuquerque_2013_MES.pdf.
- Rockwell Automation. (2012).
- RT AUTOMAÇÃO. (s.d.). Fonte: RT AUTOMAÇÃO: <https://www.rtautomacao.com.br/sistema-automacao-hvac>
- Santos, T. B., Andrade, L. R., Vieira, S. L., Duarte, J. A., Martins, J. S., Rosado, L. B., . . . Pinto, I. C. (13 de 12 de 2020). *Scielo Brasil.br*. Fonte: Scielo Brasil: <https://doi.org/10.1590/1413-81232021264.43472020>
- Schuchmann, A. Z., Schnorrenberger, B. L., Chiquetti, M. E., Gaiki, R. S., Raimann, B. W., & Maeyama, M. A. (2020). *brazilianjournals.com*. Fonte: brazilianjournals:
<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJHR/article/view/9128>
- Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais. (14 de 05 de 2020). Fonte:
https://www.saude.mg.gov.br/images/noticias_e_eventos/000_2020/mar_abr_maio/21-05_Plano-de-Contingencia-ao-Coronavirus_19-05.pdf
- Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais. (27 de 07 de 2020). *BLOG CORONAVÍRUS*. Fonte: Coronavírus Secretaria: <https://coronavirus.saude.mg.gov.br/blog/86-hospital-de-campanha>
- SENAI. (2005). *Sistemas de Automação e Controle*. Vitória. Fonte:
<https://docplayer.com.br/31040348-Sistemas-de-automacao-e-controle.html>
- Tocci, R. J., Widmer, N. S., & Moss, G. L. (2011). *SISTEMAS SIGITAIS Princípios e Aplicações*. PEARSON. Fonte: <http://www.inf.ufsc.br/~j.guntzel/isd/isd2.pdf>
- Vitória, Â. M., & Campos, G. W. (s.d.). *telessaude.unifesp.br*. Fonte: telessaude:
<https://www.telessaude.unifesp.br/images/downloads/So%CC%81%20APS%20forte%20para%20ter%20leitos%20UTI.pdf>

LISTA DE APÊNDICE

APÊNDICE A – Descritivo funcional

CONTROLE DE TRATAMENTO DE AR PARA LEITO DE ISOMALENTO HOSPITALAR COM PROPOSTA MODULAR

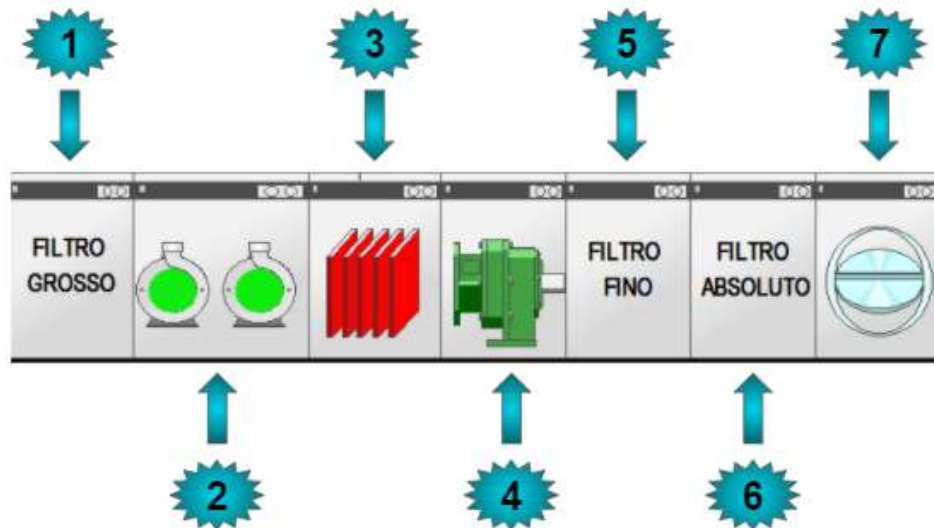
Descritivo Funcional de Controle

SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Equipamentos	2
2.1 Ventilador de Insuflamento	2
2.2 Ventilador de Exaustão	3
2.3 Compressores	3
2.4 Aquecedor	4
2.5 Umidificador	4
3. Periféricos	4
4. Controle	5
4.1 Controle de Temperatura	5
4.2 Controle de Pressão de Insuflamento	7
4.3 Controle de Pressão Ambiente	7

1.Introdução

A UTA (Unidade de Tratamento de Ar) é responsável pelo tratamento de ar e pelo controle de temperatura, umidade e pressão. A UTA é composta por:



- 1 filtro grosso;
- 2 compressores;
- 1 aquecedor;
- 1 ventilador de insuflamento com inversor de frequência;
- 1 filtro fino;
- 1 filtro absoluto;
- 1 umidificador;
- 1 ventilador de exaustão com inversor de frequência;

2.Equipamentos

2.1 Ventilador de Insuflamento

PONTOS	TIPO
Status de funcionamento	Entrada Digital
Comando liga/desliga	Saída Digital
Modulação do inversor de frequência	Saída Analógica

O Ventilador de Insuflamento tem como função fornecer fluxo de ar para o ambiente atendido. O Ventilador funciona partir do botão “LIGA SISTEMA” habilitado através da IHM. A saída analógica deverá modular o inversor de frequência de acordo com a leitura de pressão de insuflamento, a fim de vencer a saturação dos filtros e garantir a pressão de insuflamento pré-determinada.

2.2 Ventilador de Exaustão

PONTOS	TIPO
Status de funcionamento	Entrada Digital
Comando liga/desliga	Saída Digital
Modulação do inversor de frequência	Saída Analógica

O Ventilador de Exaustão tem como função retirar o fluxo de ar do ambiente atendido. O exaustor funciona a partir do botão “LIGA SISTEMA” habilitado através da IHM. A saída analógica deverá modular o inversor de frequência de acordo com a leitura de pressão diferencial ambiente, a fim de vencer a pressão de insuflamento e consequentemente garantir a pressão ambiente negativa.

2.3 Compressores

PONTOS	TIPO
Status de funcionamento	Entrada Digital
Comando liga/desliga 1º estágio	Saída Digital
Comando liga/desliga 2º estágio	Saída Digital

Os compressores têm como função resfriar e desumidificar ar que será insuflado no ambiente. Os compressores funcionam a partir do botão “LIGA SISTEMA” habilitado através da IHM. As saídas digitais deverão ser acionadas de acordo com a leitura de temperatura e umidade ambiente, a fim de resfriar ou desumidificar o ambiente.

2.4 Aquecedor

PONTOS	TIPO
Termostato de segurança	Entrada Digital
Comando liga/desliga	Saída Digital

O aquecedor tem como função aquecer o ar que será insuflado no ambiente. O aquecedor funcionará a partir do botão “LIGA SISTEMA” habilitado através da IHM. A saída analógica deverá modular o variador de potência de acordo com a leitura de temperatura ambiente, a fim de garantir a temperatura pré determinada.

2.5 Umidificador

PONTOS	TIPO
Status de nível de água na bacia	Entrada Digital
Comando liga/desliga	Saída Digital

O umidificador tem como função umidificar ar que será insuflado no ambiente. O umidificador funcionará a partir do botão “LIGA SISTEMA” habilitado através da IHM. A saída digital deverá ser acionada de acordo com a leitura de umidade ambiente, a fim de umidificar o ambiente.

3. Periféricos

PONTOS	TIPO
Temperatura ambiente	Entrada Analógica
Umidade ambiente	Entrada Analógica
Pressão ambiente	Entrada Analógica
Pressão de insuflamento (PDT)	Entrada Analógica

Pressão filtro fino (PDT)	Entrada Analógica
Pressão filtro absoluto (PDT)	Entrada Analógica
Sujidade filtro grosso (PDS)	Entrada Digital
Status da porta	Entrada Digital
Termostato de segurança	Entrada Digital
Nível de água umidificador	Entrada Digital

4. Controles

4.1 Controle de Temperatura e Umidade

	SETPOINT	LIMITE MÍNIMO	LIMITE MÁXIMO
TEMPERATURA AMBIENTE	22 °C	20 °C	24 °C
UMIDADE AMBIENTE	50 % U.R.	N/A	60 % U.R.

O controle de temperatura e umidade é feito automaticamente através de entradas analógicas e saídas digitais, podendo resfriar, aquecer, desumidificar ou umidificar o ar em função dos respectivos setpoints, não havendo nenhum alarme que o impeça de funcionar. Em caso de falha nos sensores de referência, o aquecimento e a umidificação serão bloqueados por segurança. A referência do controle é o transmissor de temperatura e umidade relativa (TRHT), instalado no ambiente

4.1.1 Resfriamento

O resfriamento será feito através do acionamento dos compressores em dois estágios. Os estágios serão acionados em função do desvio entre a temperatura ambiente atual e o setpoint. O primeiro estágio será acionado caso a temperatura ambiente esteja acima do setpoint e abaixo do diferencial (item 3.1.5). O segundo estágio será acionado caso a temperatura ambiente esteja acima do setpoint e acima do diferencial.

4.1.2 Aquecimento

O aquecimento será feito através do acionamento on/off do aquecedor caso a temperatura esteja abaixo do setpoint. Em caso de alarme no termostato, o aquecimento será bloqueado por segurança.

4.1.3 Desumidificação

A desumidificação será feita através do acionamento dos compressores em dois estágios. Os estágios serão acionados em função do desvio entre a umidade ambiente atual e o setpoint. O primeiro estágio será acionado caso a umidade ambiente esteja acima do setpoint e abaixo do diferencial. O segundo estágio será acionado caso a umidade ambiente esteja acima do setpoint e acima do diferencial.

4.1.4 Umidificação

A umidificação será feita através do acionamento on/off do umidificador caso a umidade esteja abaixo do setpoint. Em caso de alarme de falta de água na bacia, a umidificação será bloqueada por segurança.

4.1.5 Controle Digital

Note que os controles de resfriamento e desumidificação atuam nas mesmas saídas digitais correspondentes aos compressores 1 e 2, visando atender sempre o caso com maior desvio. Apresentaremos abaixo a relação de variáveis e o sistema de controle:

VARIÁVEL	TIPO	DESCRIÇÃO
T1	Entrada	Setpoint de temperatura ambiente, é o valor referência que o sistema deve atingir, no caso definido em 22°C.
T2	Entrada	Soma do setpoint de temperatura com o valor de diferencial. O valor de diferencial também será pré-setado, no caso definido em 2°C, portanto a soma é igual à 24°C.
U1	Entrada	soma do setpoint de temperatura com o valor de diferencial.
U2	Entrada	setpoint de umidade ambiente, é o valor referência que o sistema deve atingir, no caso definido em 50 % U.R
C1	Saída	acionamento on /off do 1º estágio, compressor 1

C2	Saída	acionamento on /off do 2º estágio, compressor 2.
A	Saída	acionamento on /off do aquecedor.
U	Saída	acionamento on /off do umidificador.

4.3 Controle de Pressão de Insuflamento

	SETPOINT	LIMITE MÍNIMO	LIMITE MÁXIMO
PRESSÃO DE INSUFLAMENTO	100 Pa	90 Pa	110 Pa

O controle do ventilador de insuflamento é realizado por PID, modulando seu variador de frequência em função do setpoint de pressão. Conforme os filtros vão saturando, a pressão tende a cair e consequentemente a modulação do ventilador tende a aumentar, buscando sempre o setpoint pré-determinado. Em caso de falha do sensor de pressão de insuflamento, a modulação do ventilador assumirá o valor de 50%.

4.4 Controle de Pressão Ambiente

	SETPOINT	LIMITE MÍNIMO	LIMITE MÁXIMO
PRESSÃO AMBIENTE	-5 Pa	-2,5 Pa	N/A

O controle do exaustor também é realizado por PID, porém a modulação ocorre de acordo com a pressão diferencial entre ambiente controlado e o ambiente externo, buscando sempre manter o setpoint pré-estabelecido de -5 Pa, mantendo assim a sala com pressão negativa, necessária para evitar que microrganismos suspensos no ar vazem pelas portas e janelas do ambiente controlado, tornando-o mais seguro. Em caso de falha do sensor de pressão ambiente, a modulação do exaustor assumirá o valor de 50%.

■ ■ ■

APÊNDICE B – Lista de Materiais

Lista de Materiais

Container modular

Container Modular

Item	Material	Descrição	Fabricante	Valor	Link
1	Container	Container 40' (12mx2.43mx 2.895 m)	-	Easy Container	R\$ 35.960,00 https://www.easycontainer.com.br/
2	Manta lã	Manta de lã de pet branca	-	17.258,00	https://www.artesana.com.br/produto/manta-la-de-pet-branca-1200x600x40-10kg-ig40-7-20m-66879?utm_source=&utm_medium=&utm_campaign=&qclid=CiwKCAiwzvOLBhBPEiwAJEeK9o7beqy6YozJUQ2DmZmlvPKj_V4UAeEIo598cSsU2Ym7pN-8jOFnxoCXVrQAvD_BwE
3	Manta hidrofóbica	Manta de algodão molaflex hidrofobo		R\$ 2.256,00	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1488074611-manta-100-qlgado-cru-ovata-molaflex-hidrofobo-1kg-JM#Calcula%20o%20prazo%20de%20entrega
4	Drywall	Chapa de gesso drywall standard	-	R\$ 1.128,00	https://www.artesana.com.br/produto/chapa-de-gesso-drywall-standard-1200-x-2400-x-6-5-mm-67081?atributo=Padr%C3%A3o169&qtributo=2400%20X%206,5%20MM198

Equipamentos HVAC

	Material	Descrição	Tipo	Fabricante	Valor	Link
5	Self contained	GENIUS Self Contained Condicionador de Ar Central Self Contained 5 a 15 TR		Trane	R\$ 10.000,00	https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/lar/br/produutos-sistemas/equipamentos/Unitarios/Self-Containeds/Genius/Catalogo_Produto-Genius(PKG-PRC006D-https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1236912465-filtro-de-ar-g4-hitachi-hlc9815b-JM?matt_tool=56291529&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14303413604&matt_ad_group_id=125984287157&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=539354956218&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=18033349&matt_product_id=MLB1236912465&matt_product_partition_id=1404886571258&matt_target_id=pla-1404886571258&qclid=CiwKCAiwzvOLBhBPEiwAJEeK9o7beqy6YozJUQ2DmZmlvPKj_V4UAeEIo598cSsU2Ym7pN-8jOFnxoCXVrQAvD_BwE
6	Filtro grosso	Filtro G4 660 x 445 x 25 mm	hlc9815b	Hitachi	R\$ 46,00	https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1236912465-filtro-de-ar-g4-hitachi-hlc9815b-JM?matt_tool=56291529&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14303413604&matt_ad_group_id=125984287157&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=539354956218&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=18033349&matt_product_id=MLB1236912465&matt_product_partition_id=1404886571258&matt_target_id=pla-1404886571258&qclid=CiwKCAiwzvOLBhBPEiwAJEeK9o7beqy6YozJUQ2DmZmlvPKj_V4UAeEIo598cSsU2Ym7pN-8jOFnxoCXVrQAvD_BwE
7	Filtro fino	Filtro Fino F8	FP3V-95	Linter	R\$ 300,00	https://linterfiltros.com.br/tratamento-de-ar/filtros-de-ar/filtros-finos/filtros-finos-fp/
8	Filtro absoluto	Filtro Absoluto H13 610 x 610 x 150	LRX06P-242405	Linter	R\$ 1.090,00	https://linterfiltros.com.br/tratamento-de-ar/filtros-de-ar/filtros-hepa-absolutos/filtros-absolutos-de-alta-temperatura/

Equipamentos Automação

Material	Descrição	Tipo	Fabricante	Valor (R\$)	Link	
9	Painel de controle	Painel de controle 600 x 400 x 200	CE64020	Cemar	513,74	https://www.b2cdimensional.com.br/quadro-comando-sobrepor-aco-carbono-bege-ral-7032-600-mm-400-mm-200-mm-c-flange-inferior/p?idsku=g39138&qclid=CjwKCAiwzvOLBhBPEiwAJEekjiuMoGTz6u7uNMJ2d1DZZvO8XANvsKOKXjIGW/FvAKHJLnjiGzRfxoCOOoQAvD_BwE
10	Fonte de Alimentação	Fonte de alimentação 230VAC / 24VDC 10 A	787-1638	Wago	453	https://www.wago.com/br/m%C3%A3%C2%B3dulos-de-alimenta%C3%A3%C2%A7%C3%A3%C2%A3o-de-energia/alimenta%C3%A7%C3%A3o-de-energia-modo-comuta%C3%A7%C3%A3o/p/787-1638
11	CLP Rockwell	Micro850 48 I/O EtherNet/IP Controller	2080-Lc50-48Qwb	Allen-Bradley	5.100	https://ladder.com.br/pt-br/produto-detalle/rockwell-automation/2080-lc50-48qwb/
12	IHM	PanelView Plus 7	2711P	Allen-Bradley	9.400,00	https://www.rockwellautomation.com/pt-br/products/hardware/allen-bradley/human-machine-interface/graphic-terminals/2711p-panelview-plus-7.html
13	Variador de Frequência - Ventilador	Inversor de frequência FC-51 de 2.0 HP - 220V	132F0012	Danfoss	1.541,45	https://www.mercatoautomacao.com.br/products/danfoss-132f0012?variant=39341231112358
14	Variador de Frequência -Exaustor	Inversor de frequência FC-51 de 2.0 HP - 220V	132F0012	Danfoss	1.541,45	https://www.mercatoautomacao.com.br/products/danfoss-132f0012?variant=39341231112358
15	Conversor de Potência	Conversor Controlador de Potência Mono e Trifásico	MPCTPF - PB	Loti	1350	http://www.loticom.br/dyn_images/conversor-de-potencia-mpctp-r-rev5.pdf
16	Sensor de pressão de insuflamento	Transmissor de pressão diferencial 24V 0-10V com range de 0 a	22ADP584	Belimo	1588,45	https://www.mercatoautomacao.com.br/products/belimo-22adp-584
17	Sensor de pressão filtro grosso	Pressostato diferencial de ar 50/500 PA	APS-50-U	Belimo	372,54	https://www.mercatoautomacao.com.br/products/belimo-01aps-50u?_pos=1&_sid=178cb9020&_ss-r
18	Sensor de pressão filtro fino	Transmissor de pressão diferencial 24V 0-10V com range de 0 a	22ADP584	Belimo	1588,45	https://www.mercatoautomacao.com.br/products/belimo-22adp-584
19	Sensor de pressão filtro absoluto	Transmissor de pressão diferencial 24V 0-10V com range de 0 a	22ADP584	Belimo	1588,45	https://www.mercatoautomacao.com.br/products/belimo-22adp-584
20	Sensor de pressão ambiente	Transmissor de pressão diferencial 24V 0-10V com range de 0 a	22ADP584	Belimo	1588,45	https://www.mercatoautomacao.com.br/products/belimo-22adp-584
22	Sensor de temperatura ambiente	Sensor de temperatura e umidade 4-20 mA	22UTH-53	Belimo	2436	https://www.belimo.com/us/shop/en/US/Sensors-Meters/Outdoor-Sensors-%28Air%29/22UTH-53/p?code=22UTH-53
23	Sensor de nível umidificador	Chave de 1 nível tipo bóia lateral com rosca 3/4" em plástico ABS	F6-HPS-11	Dwyer	450	https://www.mercatoautomacao.com.br/products/dwyer-f6-hps-11?_pos=4&_sid=179ba77e9&_ss-r
24	Sensor de porta	Sensor magnético de sobrepor com fio NA		Intelbras	15	http://backend.intelbras.com/sites/default/files/2020-11/Datasheet_XAS_SOBREPOR_XAS_SOBREPOR_BLACK.pdf

CUSTO TOTAL (R\$) 80.306,92