

Felipe Rodrigues Pereira Fonseca

**Desenvolvimento de uma Plataforma
Embarcada para Monitoramento e Operação de
um Trocador de Calor**

Belo Horizonte
Novembro de 2017

Felipe Rodrigues Pereira Fonseca

Desenvolvimento de uma Plataforma Embarcada para Monitoramento e Operação de um Trocador de Calor

Monografia submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado Didático do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para aprovação na disciplina Projeto Final de Curso II.

Universidade Federal de Minas Gerais

Escola de Engenharia

Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

Orientador: Lúcio Fábio Dias Passos, DEQ/UFMG

Belo Horizonte

Novembro de 2017

Felipe Rodrigues Pereira Fonseca

Desenvolvimento de uma Plataforma Embarcada para Monitoramento e Operação de um Trocador de Calor/ Felipe Rodrigues Pereira Fonseca. – Belo Horizonte, Novembro de 2017-

27 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Lúcio Fábio Dias Passos, DEQ/UFMG

Monografia de Projeto Final de Curso – Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia

Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Novembro de 2017.

1. Palavra-chave1. 2. Palavra-chave2. I. Orientador. II. Universidade xxx. III. Faculdade de xxx. IV. Título

CDU 02:141:005.7

Felipe Rodrigues Pereira Fonseca

Desenvolvimento de uma Plataforma Embarcada para Monitoramento e Operação de um Trocador de Calor

Monografia submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado Didático do Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para aprovação na disciplina Projeto Final de Curso II.

Trabalho aprovado. Belo Horizonte, 24 de novembro de 2012:

Lúcio Fábio Dias Passos, DEQ/UFMG
Orientador

Professor
Convidado 1

Professor
Convidado 2

Belo Horizonte
Novembro de 2017

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.*

Agradecimentos

Os agradecimentos principais são direcionados à Gerald Weber, Miguel Frasson, Leslie H. Watter, Bruno Parente Lima, Flávio de Vasconcellos Corrêa, Otavio Real Salvador, Renato Machnievscz¹ e todos aqueles que contribuíram para que a produção de trabalhos acadêmicos conforme as normas ABNT com L^AT_EX fosse possível.

Agradecimentos especiais são direcionados ao Centro de Pesquisa em Arquitetura da Informação² da Universidade de Brasília (CPAI), ao grupo de usuários *latex-br*³ e aos novos voluntários do grupo *abnT_EX2*⁴ que contribuíram e que ainda contribuirão para a evolução do abnT_EX2.

¹ Os nomes dos integrantes do primeiro projeto abnT_EX foram extraídos de <http://codigolivre.org.br/projects/abntex/>

² <http://www.cpai.unb.br/>

³ <http://groups.google.com/group/latex-br>

⁴ <http://groups.google.com/group/abntex2> e <http://abntex2.googlecode.com/>

*“Não vos amoldeis às estruturas deste mundo,
mas transformai-vos pela renovação da mente,
a fim de distinguir qual é a vontade de Deus:
o que é bom, o que Lhe é agradável, o que é perfeito.
(Bíblia Sagrada, Romanos 12, 2)*

Resumo

Resumo

Palavras-chaves: latex. abntex. editoração de texto.

Abstract

This is the english abstract.

Key-words: latex. abntex. text editoration.

Lista de ilustrações

Figura 2.1 –Trocador de Calor presente no LOP.	5
Figura 2.2 –Painel instalado na planta de trocador de calor	6

Lista de tabelas

Lista de abreviaturas e siglas

Fig. Area of the i^{th} component

456 Isto é um número

123 Isto é outro número

lauro cesar este é o meu nome

Lista de símbolos

Γ	Letra grega Gama
Λ	Lambda
ζ	Letra grega minúscula zeta
\in	Pertence

Sumário

1	Introdução	1
	<i>Este capítulo apresenta a motivação e justificativa para a realização deste projeto e o local de desenvolvimento, bem como descreve brevemente a estrutura da monografia</i>	
1.1	Motivação e Justificativa	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Local de Realização	3
1.4	Estrutura da Monografia	3
2	Revisão Bibliográfica	5
	<i>Teste, teste</i>	
2.1	Laboratório de Operações e Processos	5
2.2	Controle e Monitoramento de Processos Industriais	6
3	Metodologia	7
4	Resultados	9
5	Conclusão	11
	Bibliografia	13
	Apêndices	15
APÊNDICE A	Quisque libero justo	17
APÊNDICE B	Nullam elementum urna vel imperdiet sodales elit ipsum pharetra ligula ac pretium ante justo a nulla curabitur tristique arcu eu metus	19
	Anexos	21
ANEXO A	Morbi ultrices rutrum lorem.	23
ANEXO B	Cras non urna sed feugiat cum sociis natoque penatibus et magnis disparturient montes nascetur ridiculus mus	25
ANEXO C	Fusce facilisis lacinia dui	27

1 Introdução

Este capítulo apresenta a motivação e justificativa para a realização deste projeto e o local de desenvolvimento, bem como descreve brevemente a estrutura da monografia

1.1 Motivação e Justificativa

Um trocador de calor pode ser definido como um dispositivo em que ocorre uma transferência de calor entre duas substâncias que estejam em temperaturas distintas. Geralmente, as substâncias envolvidas são fluidos. Os trocadores de calor podem ser classificados com relação a diversos critérios, como por exemplo o modo de troca de calor, tipo de construção, entre outros. (KREITH; MANGLIK; BOHN, 2011)

Indústrias dos mais variados setores utilizam trocadores de calores para diversas funcionalidades, tais como:

- Recuperar energia térmica gerada em algum processo, com o intuito de reduzir o consumo de energia da planta;
- Transportar produtos em temperaturas predeterminadas.

Portanto, é de suma importância a utilização de um sistema de controle eficiente em plantas que contém trocadores de calor. Plantas como essa devem ser capazes de atender referências de temperatura bem como rejeitar de possíveis perturbações que podem ocorrer durante o funcionamento do processo. (NOVAZZI, 2007). Além disso, soluções que permitem o monitoramento e operação remota das plantas são relevantes para o processo, uma vez que trocadores de calor podem estar instalados em ambientes de difícil acesso ou operando em altas temperaturas. A operação remota de plantas industriais traz outros benefícios como (RAMESH BABAU; KRISHNAMURTHY; INDRA, 2009):

- Interface mais amigável de operação, que contribui para uma atuação mais rápida e assertiva;
- Melhor acessibilidade aos dados coletados, o que permite a equipe de engenharia e de gestão analisar e e propor melhorias na operação.

Diferentes arquiteturas de sistema de supervisão (monitoramento e operação) e controle podem ser aplicadas em plantas industriais. Encontra-se plantas utilizando a

tradicional topologia formada por PLC e um computador (PC) executando alguma ferramenta SCADA ¹, bem como é possível verificar a utilização de sistemas embarcados.² A escolha entre uma outra arquitetura depende de uma série de fatores, como: funcionalidades disponibilizadas por cada ferramenta, custo, domínio do desenvolvedor para utilizar determinados softwares, entre outros.

Um sistema embarcado pode ser definido como um sistema projetado para realizar tarefas específicas e geralmente fazem parte de uma aplicação maior, operando em tempo real e sem intervenção do usuário (BASKIYAR; MEGHANNATHAN, 2005). Devido ao avanço da tecnologia e o aumento do poder de processamento dos hardwares, os sistemas embarcados podem realizar cada vez mais tarefas, ou seja, disponibilizar mais funcionalidades aos usuários (PEREIRA; CARVALHO et al., 2011). Este fenômeno também ocorre para os softwares SCADA, que estão cada vez mais poderosos e oferecem cada vez mais recursos (GREENFIELD, 2017). Porém, quanto maior é a variabilidade de opções de projeto disponível, maior é a dificuldade de se alcançar uma padronização no desenvolvimento e, principalmente, uma padronização da comunicação entre os componentes, pois muitos sistemas ainda se comunicam em protocolo proprietário.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para monitoramento e operação via Web de um trocador de calor localizado em um dos laboratórios do departamento da engenharia química da UFMG. Para isso, foram utilizados protocolos de comunicação e ferramentas de código aberto, para possibilitar futura integração de outros sistemas e/ou funcionalidades.

O tema é relevante pois, a implementação proposta permite aos alunos que realizem as práticas no laboratório forma mais adequada, de forma que os esforços estejam concentrados na análise dos experimentos e identificação dos fenômenos, e não na coleta de dados e regulação da planta nos pontos de operação. Essa implementação também permite aos alunos de Engenharia de Controle e Automação estudar modelagem de sistemas e projeto de controladores. Por fim, a solução proposta também proporciona os alunos o contato com tecnologias emergentes e que podem ser utilizadas largamente nas indústrias.

1.2 Objetivos

De acordo com as informações expostas acima, este Projeto Final de Curso (PFC) possui o seguinte objetivo geral:

- Propor e testar uma solução baseada em sistemas embarcados para monitoramento e operação remota de um trocador de calor.

¹ <https://www.wonderware.com/hmi-scada/what-is-scada/>

² http://files.comunidades.net/mutcom/ARTIGO_SIST_EMB.pdf

Além do objetivo geral, o projeto possui também os seguintes objetivos específicos:

- Comparar a solução embarcada com um software de prateleira tradicional;
- Proporcionar uma base de conhecimento para implementações de sistemas semelhantes para outras plantas do laboratório;
- Possibilitar a inserção de mais funcionalidades ao sistema, como por exemplo um algoritmo de autovalidação. da planta;

1.3 Local de Realização

O projeto foi desenvolvido no Laboratório de Operações e Processos Industriais, um dos laboratórios que pertencem ao Departamento de Engenharia Química (DEQ) da UFMG. Estes laboratórios são utilizados para fins didáticos e de pesquisa.

1.4 Estrutura da Monografia

O trabalho está dividido em 6 capítulos. O presente capítulo apresentou a motivação e os objetivos do trabalho. O capítulo 2

2 Revisão Bibliográfica

Teste, teste

2.1 Laboratório de Operações e Processos

O Laboratório de Operações e Processos (LOP) é um dos diversos laboratórios para fins de ensino e pesquisa pertencentes ao Departamento de Engenharia Química da UFMG (DEQ). Ainda existem outros laboratórios vinculados ao departamento cuja finalidade é prestar serviços às comunidades interna e externa à UFMG ¹.

O LOP possui quatro plantas didáticas: **explicar aqui brevemente as 4 plantas constituintes do laboratório**

O trocador de calor existente no laboratório, cuja imagem pode ser vista na [Figura 2.1](#), é do tipo **tubular**.



Figura 2.1 – Trocador de Calor presente no LOP.

Este trocador de calor foi instalado no laboratório em **colocar aqui a história do trocador de calor** e originalmente possuía apenas a indicação das medidas de temperatura. A imagem destaca os sensores de temperatura instalados inicialmente. A medição de vazão era inferida através da utilização de uma Calha Parshall².

Em 2016, um projeto de modernização desta planta foi iniciado por ([PEREIRA; ROCHA et al., 2016](#)). O projeto consistiu na implementação de um sistema embarcado

¹ <http://www.deq.ufmg.br/departamento/infraestrutura>

² <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/PARSHALL.html>

para monitoramento, operação e controle da planta. Para alcançar o objetivo, foram feitos os seguintes passos:

- Instalação de quatro novos sensores de temperatura, dois novos sensores de vazão, tornando possível a medição digital das vazões, 2 relés, para o controle do acionamento dos atuadores e um inversor de frequência para controlar a rotação da bomba;
- Instalação de um Arduino Due³ para fazer a interface com sensores e atuadores, processar os algoritmos de controle, e exibir os dados em um display LCD. O programa criado no Arduino possibilita a operação em modo automático e manual;
- Construção e instalação de um painel para operar e visualizar os dados da planta. Através desse painel é possível selecionar o modo de funcionamento da planta (manual ou automático). Em modo manual, é possível ligar e desligar bomba e aquecedor, bem como controlar a velocidade da bomba e potência do aquecedor. O display LCD permite exibir várias informações como por exemplo valores das temperaturas e vazões, bem como a sintonia dos controladores. Essas informações não conseguem ser expostas ao mesmo tempo para o usuário, portanto um sistema de navegação foi implementado no Arduino. O esboço do painel elaborado é mostrado na Figura 2.2.

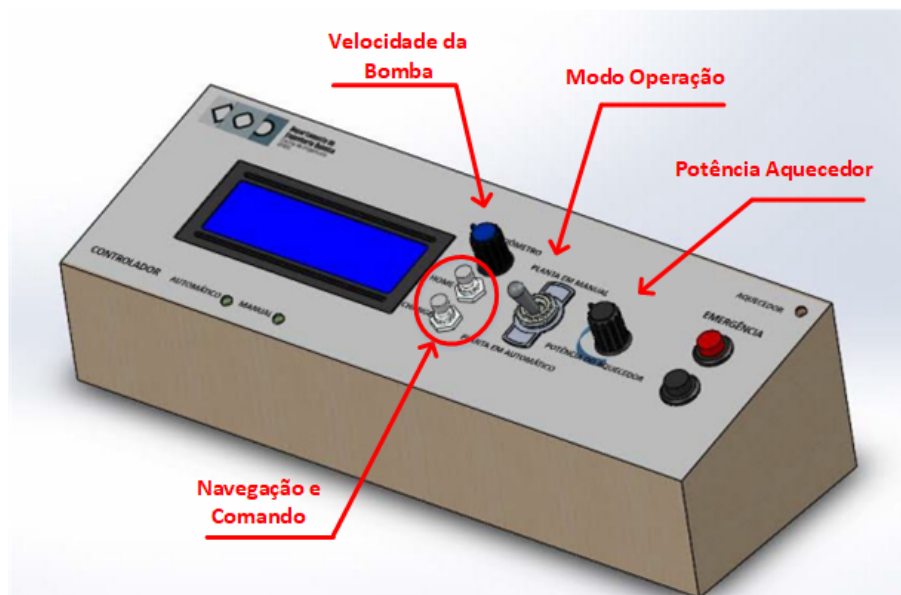


Figura 2.2 – Painel instalado na planta de trocador de calor.
Adaptado de (PEREIRA; ROCHA et al., 2016)

2.2 Controle e Monitoramento de Processos Industriais

³ <https://store.arduino.cc/usa/arduino-due>

3 Metodologia

4 Resultados

5 Conclusão

Sed consequat tellus et tortor. Ut tempor laoreet quam. Nullam id wisi a libero tristique semper. Nullam nisl massa, rutrum ut, egestas semper, mollis id, leo. Nulla ac massa eu risus blandit mattis. Mauris ut nunc. In hac habitasse platea dictumst. Aliquam eget tortor. Quisque dapibus pede in erat. Nunc enim. In dui nulla, commodo at, consectetur nec, malesuada nec, elit. Aliquam ornare tellus eu urna. Sed nec metus. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas.

Phasellus id magna. Duis malesuada interdum arcu. Integer metus. Morbi pulvinar pellentesque mi. Suspendisse sed est eu magna molestie egestas. Quisque mi lorem, pulvinar eget, egestas quis, luctus at, ante. Proin auctor vehicula purus. Fusce ac nisl aliquam ante hendrerit pellentesque. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Morbi wisi. Etiam arcu mauris, facilisis sed, eleifend non, nonummy ut, pede. Cras ut lacus tempor metus mollis placerat. Vivamus eu tortor vel metus interdum malesuada.

Sed eleifend, eros sit amet faucibus elementum, urna sapien consectetur mauris, quis egestas leo justo non risus. Morbi non felis ac libero vulputate fringilla. Mauris libero eros, lacinia non, sodales quis, dapibus porttitor, pede. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Morbi dapibus mauris condimentum nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Etiam sit amet erat. Nulla varius. Etiam tincidunt dui vitae turpis. Donec leo. Morbi vulputate convallis est. Integer aliquet. Pellentesque aliquet sodales urna.

Bibliografia

BASKIYAR, S.; MEGHANNATHAN, N. A Survey of Contemporary Real-time Operating Systems. **Informatica**, v. 29, p. 233–240, 2005. Citado na página 2.

GREENFIELD, David. **Will SCADA Remain Relevant as Industry Advances?** [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: <<https://www.automationworld.com/will-scada-remain-relevant-industry-advances>>. Citado na página 2.

KREITH, Frank; MANGLIK, Raj M.; BOHN, Mark S. **Principles of Heat Transfer**. 7. ed. [S.l.]: Cengage Learning, 2011. p. 485–486. 784 p. Citado na página 1.

NOVAZZI, Luis F. **Dinâmica e Controle de Redes de Trocadores de Calor**. 2007. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas. Citado na página 1.

PEREIRA, Luis E. G.; ROCHA, Lucas Azevedo et al. **Projeto e implementação de sistema embarcado para monitoramento e controle do trocador de calor**. 2016. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Citado 1 vez nas páginas 5, 6.

PEREIRA, Luiz Arthur Malta; CARVALHO, Francine Roberta et al. Software Embarcado, O Crescimento e as Novas Tendências Deste Mercado. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 6, p. 85–94, 2011. Citado na página 2.

RAMESH BABAU, Kiruba Shankar; KRISHNAMURTHY, K; INDRA, J. Remote monitoring system for distributed control of industrial plant process. **Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 68, out. 2009. Citado na página 1.

Apêndices

APÊNDICE A – Quisque libero justo

Quisque facilisis auctor sapien. Pellentesque gravida hendrerit lectus. Mauris rutrum sodales sapien. Fusce hendrerit sem vel lorem. Integer pellentesque massa vel augue. Integer elit tortor, feugiat quis, sagittis et, ornare non, lacus. Vestibulum posuere pellentesque eros. Quisque venenatis ipsum dictum nulla. Aliquam quis quam non metus eleifend interdum. Nam eget sapien ac mauris malesuada adipiscing. Etiam eleifend neque sed quam. Nulla facilisi. Proin a ligula. Sed id dui eu nibh egestas tincidunt. Suspendisse arcu.

APÊNDICE B – Nullam elementum urna vel imperdiet sodales elit ipsum pharetra ligula ac pretium ante justo a nulla curabitur tristique arcu eu metus

Nunc velit. Nullam elit sapien, eleifend eu, commodo nec, semper sit amet, elit. Nulla lectus risus, condimentum ut, laoreet eget, viverra nec, odio. Proin lobortis. Curabitur dictum arcu vel wisi. Cras id nulla venenatis tortor congue ultrices. Pellentesque eget pede. Sed eleifend sagittis elit. Nam sed tellus sit amet lectus ullamcorper tristique. Mauris enim sem, tristique eu, accumsan at, scelerisque vulputate, neque. Quisque lacus. Donec et ipsum sit amet elit nonummy aliquet. Sed viverra nisl at sem. Nam diam. Mauris ut dolor. Curabitur ornare tortor cursus velit.

Morbi tincidunt posuere arcu. Cras venenatis est vitae dolor. Vivamus scelerisque semper mi. Donec ipsum arcu, consequat scelerisque, viverra id, dictum at, metus. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut pede sem, tempus ut, porttitor bibendum, molestie eu, elit. Suspendisse potenti. Sed id lectus sit amet purus faucibus vehicula. Praesent sed sem non dui pharetra interdum. Nam viverra ultrices magna.

Aenean laoreet aliquam orci. Nunc interdum elementum urna. Quisque erat. Nullam tempor neque. Maecenas velit nibh, scelerisque a, consequat ut, viverra in, enim. Duis magna. Donec odio neque, tristique et, tincidunt eu, rhoncus ac, nunc. Mauris malesuada malesuada elit. Etiam lacus mauris, pretium vel, blandit in, ultricies id, libero. Phasellus bibendum erat ut diam. In congue imperdiet lectus.

Anexos

ANEXO A – Morbi ultrices rutrum lorem.

Sed mattis, erat sit amet gravida malesuada, elit augue egestas diam, tempus scelerisque nunc nisl vitae libero. Sed consequat feugiat massa. Nunc porta, eros in eleifend varius, erat leo rutrum dui, non convallis lectus orci ut nibh. Sed lorem massa, nonummy quis, egestas id, condimentum at, nisl. Maecenas at nibh. Aliquam et augue at nunc pellentesque ullamcorper. Duis nisl nibh, laoreet suscipit, convallis ut, rutrum id, enim. Phasellus odio. Nulla nulla elit, molestie non, scelerisque at, vestibulum eu, nulla. Ut odio nisl, facilisis id, mollis et, scelerisque nec, enim. Aenean sem leo, pellentesque sit amet, scelerisque sit amet, vehicula pellentesque, sapien.

ANEXO B – Cras non urna sed feugiat cum sociis natoque penatibus et magnis disparturient montes nascetur ridiculus mus

Sed consequat tellus et tortor. Ut tempor laoreet quam. Nullam id wisi a libero tristique semper. Nullam nisl massa, rutrum ut, egestas semper, mollis id, leo. Nulla ac massa eu risus blandit mattis. Mauris ut nunc. In hac habitasse platea dictumst. Aliquam eget tortor. Quisque dapibus pede in erat. Nunc enim. In dui nulla, commodo at, consectetur nec, malesuada nec, elit. Aliquam ornare tellus eu urna. Sed nec metus. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas.

ANEXO C – Fusce facilisis lacinia dui

Phasellus id magna. Duis malesuada interdum arcu. Integer metus. Morbi pulvinar pellentesque mi. Suspendisse sed est eu magna molestie egestas. Quisque mi lorem, pulvinar eget, egestas quis, luctus at, ante. Proin auctor vehicula purus. Fusce ac nisl aliquam ante hendrerit pellentesque. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Morbi wisi. Etiam arcu mauris, facilisis sed, eleifend non, nonummy ut, pede. Cras ut lacus tempor metus mollis placerat. Vivamus eu tortor vel metus interdum malesuada.