

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-

51 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 Machnievscz<sup>1</sup> e todos aqueles que contribuíram para que a produção de trabalhos acadêmicos conforme as normas ABNT com L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X fosse possível.

Agradecimentos especiais são direcionados ao Centro de Pesquisa em Arquitetura da Informação<sup>2</sup> da Universidade de Brasília (CPAI), ao grupo de usuários *latex-br*<sup>3</sup> e aos novos voluntários do grupo *abnT<sub>E</sub>X2*<sup>4</sup> que contribuíram e que ainda contribuirão para a evolução do abnT<sub>E</sub>X2.

---

<sup>1</sup> Os nomes dos integrantes do primeiro projeto abnT<sub>E</sub>X foram extraídos de <http://codigolivre.org.br/projects/abntex/>

<sup>2</sup> <http://www.cpai.unb.br/>

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

<sup>4</sup> <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

Segundo a [ABNT \(2003, 3.1-3.2\)](#), o resumo deve ressaltar o objetivo, o método, os resultados e as conclusões do documento. A ordem e a extensão destes itens dependem do tipo de resumo (informativo ou indicativo) e do tratamento que cada item recebe no documento original. O resumo deve ser precedido da referência do documento, com exceção do resumo inserido no próprio documento. (...) As palavras-chave devem figurar logo abaixo do resumo, antecedidas da expressão Palavras-chave:, separadas entre si por ponto e finalizadas também por ponto.

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



# Abstract

This is the english abstract.

**Key-words:** latex. abntex. text editoration.





# Lista de ilustrações

Figura 1 – Trocador de Calor presente no LOP. . . . .	29
---	----



## 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

$\Gamma$	Letra grega Gama
$\Lambda$	Lambda
$\zeta$	Letra grega minúscula zeta
$\in$	Pertence





# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>25</b>
	<i>Isso é um teste de comentário para a introdução no sumário</i>	
1.1	Motivação e Justificativa	25
1.2	Objetivos	26
1.3	Local de Realização	27
1.4	Estrutura da Monografia	27
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>29</b>
2.1	Laboratório de Operações e Processos	29
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>35</b>
	<b>Referências</b>	<b>37</b>
	<b>Apêndices</b>	<b>39</b>
	<b>APÊNDICE A</b> Quisque libero justo	<b>41</b>
	<b>APÊNDICE B</b> Nullam elementum urna vel imperdiet sodales elit ipsum pharetra ligula ac pretium ante justo a nulla curabitur tristique arcu eu metus	<b>43</b>
	<b>Anexos</b>	<b>45</b>
	<b>ANEXO A</b> Morbi ultrices rutrum lorem.	<b>47</b>
	<b>ANEXO B</b> Cras non urna sed feugiat cum sociis natoque penatibus et magnis disparturient montes nascetur ridiculus mus	<b>49</b>
	<b>ANEXO C</b> Fusce facilisis lacinia dui	<b>51</b>



# 1 Introdução

*Isso é um teste de comentário para a introdução no sumário*

## 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 (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 <sup>1</sup>, bem como é possível verificar a utilização de sistemas embarcados.<sup>2</sup> A

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

<sup>2</sup> [http://files.comunidades.net/mutcom/ARTIGO\\_SIST\\_EMB.pdf](http://files.comunidades.net/mutcom/ARTIGO_SIST_EMB.pdf)

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 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 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;

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

### 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 <sup>1</sup>.

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 1, é do tipo **tubular**.



Figura 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 (**colocar a referência**) destaca os sensores de temperatura instalados inicialmente. A medição de vazão era inferida através da utilização de uma Calha Parshall<sup>2</sup>.

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

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

Posteriormente, em 2016 um projeto de modernização desta planta foi iniciado por (PEREIRA et al., 2016).



## 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.



# Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6028*: Resumo - apresentação. Rio de Janeiro, 2003. 2 p. Citado na página 11.

BABAU, K. S. R.; KRISHNAMURTHY, K.; INDRA, J. Remote monitoring system for distributed control of industrial plant process. *Journal of Scientific and Industrial Research*, v. 68, 10 2009. Citado na página 25.

BASKIYAR, S.; MEGHANNATHAN, N. A survey of contemporary real-time operating systems. *Informatica*, v. 29, p. 233–240, 2005. Citado na página 26.

GREENFIELD, D. *Will SCADA Remain Relevant as Industry Advances?* 2017. Disponível em: <<https://www.automationworld.com/will-scada-remain-relevant-industry-advances>>. Acesso em: 11.10.2017. Citado na página 26.

KREITH, F.; MANGLIK, R. M.; BOHN, M. S. *Principles of Heat Transfer*. 7. ed. [S.l.]: Cengage Learning, 2011. 485-486 p. Citado na página 25.

NOVAZZI, L. F. *Dinâmica e Controle de Redes de Trocadores de Calor*. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, 2007. Citado na página 25.

PEREIRA, L. A. M.; CARVALHO, F. R.; BORTOLUCCI, T.; MORAES, M. H. 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 26.

PEREIRA, L. E. G.; ROCHA, L. A.; SANTOS, R. T.; RAMOS, V. F. *Projeto e implementação de sistema embarcado para monitoramento e controle do trocador de calor*. Monografia — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Citado na página 30.





## 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.