

**UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Controle de Temperatura em Instrumentação Eletrônica**

Área de Engenharia Elétrica

Por

Caio Augusto Bortolossi Bufolo

André Renato Bakalereskis  
Orientador

Itatiba (SP), Dezembro de 2011

**UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO**  
**CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Controle de Temperatura em Instrumentação Eletrônica**

Área de Engenharia Elétrica

Por

Caio Augusto Bortolossi Bufolo

Relatório apresentado à Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica para análise e aprovação.

Orientador: Prof.º André Renato Bakalereskis

Itatiba (SP), 2011

*'À Deus, por permitir que eu  
chegasse até aqui.'*

## RESUMO

Bufolo, Caio A. B. Controle de Temperatura em Instrumentação Eletrônica. Itatiba, 2011. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2011.

Diante do aumento da velocidade em linhas de produção e a necessidade em otimizar processos industriais para atingir o mercado consumidor, surgiu a ideia de criar um instrumento que pudesse analisar o comportamento de produtos de forma rápida e eficiente em diversas faixas de temperatura. Com isso, será possível identificar possíveis falhas no processo e corrigir instantaneamente a linha de produção sem perdas de tempo para estabilização da temperatura. Será importante também para Engenharia de Materiais no que diz respeito a estabilidade térmica de embalagens a fim de garantir boa vida útil e prazo de validade de produtos até que chegue ao consumidor.

O modelo consiste basicamente em uma chapa de cobre com um elemento resfriador de um lado e um elemento aquecedor do outro, além de uma placa eletrônica que fará o controle de temperatura em faixas pré-determinadas. O elemento resfriador será feito através de células peltier posicionadas estrategicamente a fim de obter um melhor aproveitamento da chapa de cobre. Já o elemento aquecedor será feito por resistores de potência alojados na outra extremidade da chapa de cobre.

Com o elemento resfriador e o elemento aquecedor devidamente posicionados e controlados eletronicamente, a chapa de cobre irá naturalmente se encarregar de criar um diferencial de temperatura em sua extensão.

Com um gradiente de temperatura sobre a chapa de cobre, será possível analisar de forma rápida e instantânea durante o processo de fabricação, o comportamento de matérias primas, alimentos, tintas, entre outros, a fim de verificar se determinado produto encontra-se em sua formulação correta ou se há a necessidade de intervenção na linha de produção.

O trabalho apresenta como foco principal a utilização de células peltier e seus efeitos, como principal tendência para o mercado futuro.

**Palavras-chave: Controle de temperatura, Célula peltier.**

## ABSTRACT

Bufolo, Caio A. B. Temperature Control in Electronic Instrumentation. Itatiba, 2011.  
Conclusion of Course Work, Universidade São Francisco, Itatiba, 2011.

Given the increasing speed of production lines and the need to optimize industrial processes to reach the consumer market, the idea of creating an instrument that could analyze the behavior of products quickly and efficiently in various temperature ranges. This will help to identify possible flaws in the process and instantly correct the production line without loss of time for temperature stabilization. It will be important also for Materials Engineering regarding the thermal stability of packaging to ensure good shelf life and shelf life of products until it reaches the consumer.

The model basically consists of a copper plate with a cooling element on one side and a heating element on the other, and an electronic board that will control the temperature in predetermined ranges. The cooling element is done by peltier cells strategically positioned to achieve a better use of the copper plate. the heating element will be fair for power resistors housed at the other end of the copper plate.

With the heating element and cooling element properly positioned and controlled electronically, the copper plate will naturally take charge of creating a temperature differential in extent.

With a temperature gradient on the copper plate, you can quickly analyze and instantly during the manufacturing process, the behavior of raw materials, foods, dyes among others, to verify whether a product is in its formulation correct or if there is a need for intervention in the production line.

The work has mainly focused on the use of Peltier cells and their effects, as the main trend for the future market.

**Keywords: Control of temperature. Peltier cell.**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 – Modelo de viscosímetro .....	5
Ilustração 2 – Analisador de textura .....	6
Ilustração 3 – Sistema básico de malha fechada .....	7
Ilustração 4 – Sistema de malha fechada com circuito de potência .....	7
Ilustração 5 – Resistência do termistor em função da temperatura .....	8
Ilustração 6– Tamanho x potência dos resistores .....	12
Ilustração 7 – Polarização e barreira interna de potencial da junção P-N .....	13
Ilustração 8 – Exemplo de célula peltier .....	15
Ilustração 9 – Exemplo de célula peltier com mais de um estágio e estágio simples..	16
Ilustração 10 – Modelo de dissipador de calor .....	18
Ilustração 11 – Modelo do Instrumento .....	21

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Tabela de cores do resistor.. .....	11
Tabela 2 – Faixas de Temperatura do Modelo de Instrumento.....	22

# SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
2.1 INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA .....	3
2.1.1 ELEMENTOS DE CONTROLE .....	4
2.2 CONTROLE .....	7
2.3 TERMISTORES .....	8
2.4 RESISTORES .....	10
2.4.1 RESISTORES DE POTÊNCIA .....	11
2.5 SEMICONDUTORES .....	13
2.5.1 POLARIZAÇÃO DA JUNÇÃO P-N .....	13
2.6 EFEITO SEEBECK .....	14
2.7 EFEITO PELTIER .....	14
2.8 DISSIPADOR DE CALOR .....	17
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>19</b>
<b>4 MODELO .....</b>	<b>20</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>24</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>25</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Diante do atual contexto do setor industrial que envolve grandes mudanças tecnológicas e avanços sócio-econômicos, são poucos os processos industriais que não utilizam algum tipo de sistema de controle, monitoramento e correção em linha de produção, a fim de otimizar o processo e obter resultados satisfatórios e condizentes com os padrões de qualidade exigidos pelo crescente e atual mercado.

A forte concorrência do mercado faz surgir a necessidade de uma linha de produção veloz, capaz de obter resultados ótimos sem desperdício de recursos. Por este motivo, processos monitorados e automatizados se fazem tão importantes para indústrias de alta produtividade. Em processos industriais no qual a temperatura é uma variável envolvida na produção, erros de operação e desperdício de recursos é um fator comum e que, em muitos casos, pode diminuir a competitividade de uma empresa no mercado.

O objetivo de medir e controlar a temperatura nos processos industriais é obter produtos de alta qualidade, com melhores condições de rendimento e a custos cada vez menores, tornando mais acessível e adequado as necessidades do consumidor.

Controlar um processo significa atuar sobre ele ou sobre as condições a que o processo está sujeito, de modo a atingir um objetivo mesmo que efeitos externos tentem desviá-lo desta condição. Este objetivo pode ter sido escolhido por atender melhor aos requisitos de qualidade e segurança do processo.

Com isso, surgiu o interesse de estudar sistemas de controle de temperatura utilizando células peltier. Embora descoberta em 1834 por Jean Charles Athanase Peltier, muito se tem a estudar sobre ela, sendo que há poucas literaturas envolvendo seus princípios e suas aplicações. Os sistemas de controle de temperatura através de células peltier não são agressivos ao meio ambiente, podendo substituir outros processos como os sistemas através de gás refrigerante tetrafluoretano, que hoje é utilizado em pequenas aplicações domésticas.

Com a temperatura controlada, será possível aumentar a vida útil dos equipamentos, além de que os equipamentos eletrônicos trabalham melhor e mais efetivamente em ambientes com a temperatura controlada, podendo assim aumentar a produtividade do instrumento e do usuário.

O objetivo de se estudar a temperatura em controles industriais dentro da instrumentação, surgiu a fim de criar um sistema que avalie de forma rápida, eficaz e instantânea o comportamento de matérias primas, tintas, látex, alimentos como chocolate ou qualquer amostra que apresente comportamento diferenciado em função da temperatura em que é submetida.

No mercado de instrumentação atual, é muito comum encontrar instrumentos de laboratório e de processo que façam a análise de forma rápida e instantânea de parâmetros como a viscosidade, densidade, textura, entre outros, de substâncias que serão utilizadas em determinados produtos durante a sua produção. Esses parâmetros são muito importantes, pois determinam fatores como a textura ideal do produto, viscosidade e até mesmo o prazo de validade.

Os produtos que exigem uma análise de comportamento em função da temperatura ficam um pouco restrito com os modelos de instrumento moderno que demandam muito tempo para pôr à prova cada temperatura nas amostras e analisar o que ocorreu com elas. A partir disso, surge a ideia de criar um instrumento que possa analisar produtos de forma instantânea sem ser necessário parar uma linha de produção para aguardar o resultado da análise. Isso é importante, pois o instrumento poderá ser posicionado de forma estratégica na linha de produção, e com isso, poder analisar instantaneamente o comportamento de determinado produto e, dessa forma, com o resultado em mãos, uma ação poderá ser tomado modificando pontos da linha de produção a fim de corrigir a composição do produto.

Isso representará um passo grande na instrumentação, pois quando se fala em otimização de processo e ganho de tempo, traz um avanço satisfatório na indústria de produção em massa. A possibilidade de analisar o comportamento de produtos de forma instantânea faz com que linhas de produção não sejam paradas, o que acarreta em perda de matéria prima, tempo e produtividade.

A ideia partiu de princípios básicos e simples da eletrônica, mas que somados em um mesmo instrumento, representam talvez, uma nova visão do setor temperatura x tempo que hoje é um setor problemático, pois envolve fatores externos, ambientais e climáticos, fatores esses, diretamente ligados ao tempo necessário para que cada produto atinja a temperatura ideal para ser analisado.

Uma vez funcionando e com a aceitação do mercado interessado, a produção do modelo poderá ser criada a fim de atender uma gama considerável dos produtos interessados.

## **2 Revisão Bibliográfica**

A instrumentação eletrônica é uma área da ciência que estuda, desenvolve e aplica instrumentos de medição e controle de processos em linhas industriais, com o objetivo de garantir e aperfeiçoar a qualidade dos produtos. É definida como a ciência de medição e controle do processo produtivo.

### **2.1 Instrumentação Eletrônica**

O termo instrumentação pode ser utilizado para fazer menção à área de trabalho dos técnicos e engenheiros de processo que lidam com os aparelhos do processo produtivo, aplicado aos instrumentos de medição responsáveis por analisar e modificar pontos do processo a fim de certificar a qualidade final do produto. Em uma indústria é necessário a medição e o controle de uma série de processos físicos. O processo caracteriza-se como uma operação ou desenvolvimento natural, que evolui progressivamente e de forma contínua, ligado por uma série de mudanças graduais que se sucedem umas das outras, de um modo particular. A operação evolui progressivamente e se constitui de uma série de ações controladas no processo sistematicamente dirigidos para se alcançar um determinado resultado final dentro do processo industrial.

O processo industrial se constitui na aplicação do conhecimento, trabalho e capital, para transformar a matéria-prima em bens de produção e consumo, por meios de técnicas de controle, obtendo valor agregado ao produto a fim de alcançar o objetivo do consumidor. Deste modo, para controlar um processo industrial, se faz necessário a medição de uma série de parâmetros. Para a área da engenharia que desenvolve, projeta e especifica os equipamentos que realizam estas medições é que chamamos de Instrumentação.

Um instrumento é um dispositivo que é utilizado para medir, indicar, transmitir ou controlar grandezas de um sistema físico de controle. As variáveis medidas são praticamente todas as variáveis mensuráveis relacionadas com as ciências físicas. Por norma este conjunto de variáveis inclui pressão, temperatura, nível, densidade, viscosidade, pH, radiação, corrente elétrica, tensão elétrica, indutância, capacitância, frequência e vazão, sendo que, de algumas delas pode-se tirar muitas outras.

Os sinais com que os instrumentos comunicam entre si são normalizados. Alguns dos sinais típicos são analógicos, pneumáticos (3-15 psi, 20-100 kPa, 6-30 psi), tensão (1-5 V, 0-5

V, 0-10 V), corrente elétrica (4-20 mA, 8-40 mA), digitais, protocolos de rede (*hart, smart, fieldbus, modbus, profibus*).

Ao longo dos anos, com o crescimento desse segmento da eletrônica, foi possível obter melhorias nos produtos além de garantir uma maior eficiência no processo fabril otimizando e aumentando a produtividade local. No início do aparecimento da instrumentação eletrônica, os elementos do processo eram monitorados pelo operador, que analisava todas as malhas de controle, ajustava se necessário as válvulas do processo a fim de obter o resultado desejado no final da produção. Com o avanço dessa tecnologia por volta de 1940, os controles dos processos industriais começaram a trabalhar de forma mais inteligente, rápido e seguro. O produto começou a ser monitorado de forma automatizada e o operador já não precisava mais ficar ao longo da malha do processo regulando válvulas.

Inicialmente, o controle era feito com instrumentos de processo, onde os sensores ficavam próximos aos transmissores e ação era tomada juntamente a máquina. Com o passar dos anos, o controle passou a se adequar a necessidade do processo. Surgiu então o laboratório de controle de processo, onde todas as variáveis de controle eram enviadas a esse laboratório para ser analisadas, e após isso, uma ação era tomada e já respondida ao processo de controle.

Com a evolução da computação, a instrumentação eletrônica ganhou ainda mais força. A complexidade dos processos industriais e a necessidade de mais processamento de malhas de controle, fez com que tornasse inviável a quantidade de circuitos e componentes envolvidos. Nesse período, passou-se a utilizar processos micro controlados e monitorização online. Ficou evidente a quantidade de componentes que foi reduzido, além de obter-se mais velocidade de resposta, menor erro e diminuição na quantidade de fios.

### **2.1.1 Elementos de Controle**

A instrumentação utiliza princípios eletrônicos que são rápidos e precisos para medir, indicar, controlar, transmitir e analisar grandezas de sistemas físicos e químicos. A instrumentação está em tudo que é mensurável, relacionada principalmente com as ciências físicas.

Na instrumentação atual, conseguimos analisar praticamente tudo que está envolvido em um processo de fabricação de algum produto, como por exemplo, vazão, nível, pressão densidade, viscosidade, tensão elétrica, corrente elétrica, temperatura entre outros. A análise dessas variáveis se torna muito importante no processo, pois é a partir desses resultados que

uma ação será tomada e analisada a fim de modificar o procedimento atual de fabricação de um determinado produto.

A viscosidade, por exemplo, é um parâmetro principal quando se trata de quaisquer medições de fluxo de fluidos, tais como líquidos, semi sólidos, gases e até sólidos. Medições de viscosidade são feitas em conjunto com a qualidade do produto e suas eficiências no mercado. Muitos fabricantes passaram a considerar a viscosidade como uma parte crucial de suas pesquisas, desenvolvimento e programas de controle de processo. Eles sabem que as medições de viscosidade são muitas vezes a maneira mais rápida, mais precisa e mais confiável para analisar alguns dos fatores mais importantes que afetam o desempenho do produto. A viscosidade nada mais é que a medida do atrito interno de um fluido. Esta fricção torna-se aparente quando surge uma camada de líquido movimentando-se em relação à outra camada dentro de um mesmo volume. A ilustração 1 mostra o exemplo de um viscosímetro.



Ilustração 1. Modelo de viscosímetro [8].

Outro exemplo de medição utilizando instrumentação eletrônica e que, torna crucial na qualidade de um produto, é a textura. A análise da textura está principalmente ligada à avaliação das características mecânicas que o material é submetido quando uma força controlada é aplicada a sua superfície de contato. Os produtos de consumo tem sucesso no mercado, em partes, porque os clientes percebem que as características de textura são agradáveis. Isto é válido também com produtos alimentícios, cosméticos, produtos farmacêuticos, embalagens, materiais industriais entre outros. A ilustração 2 mostra um exemplo de um instrumento analisador de textura.



Ilustração 2. Analisador de textura [8].

Na mesma linha de instrumentação, fica um pouco mais difícil encontrar no mercado instrumentos de medição que analisem as propriedades térmicas de produtos de forma rápida e eficaz. A temperatura é um fator de principal influência em matérias primas, pois determina fatores como o comportamento do produto no mercado, vida útil, proliferação de fungos e bactérias e determinação de sua embalagem. Com relação as bactérias, é importante saber a temperatura normal de armazenamento do produto pois é nessa temperatura que ele irá se encontrar grande parte do seu tempo até sua venda. Com essa temperatura estabelecida, o produto deverá conter substâncias que impeçam que determinados fungos se agrupem no produto. Outro ponto importante é sua embalagem, que está diretamente ligado a proliferação dos fungos, pois após a faixa de temperatura ideal de trabalho do produto, a embalagem deverá suportar variações externas de temperatura a fim de manter constante a temperatura interna do produto.

## 2.2 Controle

Se tratando de temperatura, fica evidente a dificuldade no controle do processo ao que diz respeito às perdas entre o sistema e o ambiente externo provocado pelas trocas de calor.

Para que um sistema de controle de temperatura seja eficiente, preciso e com o mínimo de perdas possível, é necessário um tipo de controle que monitore a saída do processo, a fim de avaliar e comparar o sinal de entrada com a temperatura efetiva na saída, corrigindo um possível erro através de uma realimentação.

Para que isso ocorra, será necessário um sistema em malha fechada, que utilizará informações de como a saída está evoluindo a fim de determinar um sinal de controle a ser aplicado no processo fazendo com que as perdas sejam minimizadas. O dispositivo que calcula o sinal de controle que será aplicado ao sistema é chamado controlador ou compensador. Um diagrama básico de sistema em malha fechada é mostrado na ilustração 4.

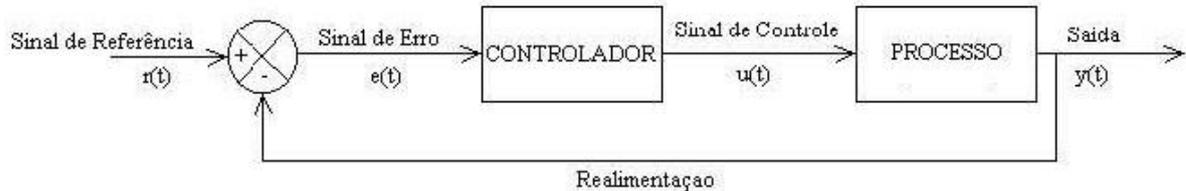


Ilustração 3. Sistema básico de malha fechada [2]

O sistema em malha fechada aplicado a controle de temperatura, circuito de potência, realimentação e aquecedor é mostrado na ilustração 5.

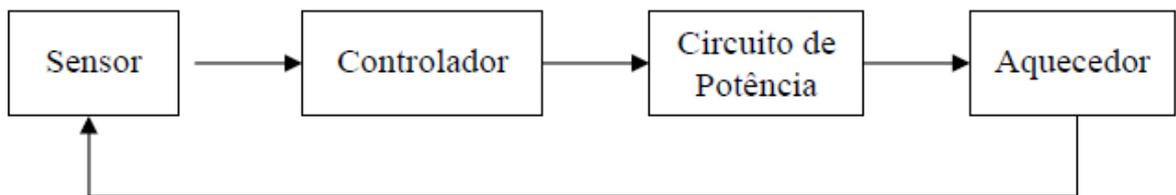


Ilustração 4. Sistema de malha fechada com circuito de potência [2]

## 2.3 Termistores

Termistores são resistores sensíveis à temperatura, ou seja, resistores que variam sua resistência conforme a temperatura em que é submetido.

Os primeiros tipos de sensores de temperatura que variavam sua resistência feitos a partir de semicondutores, foram feitos de óxido de manganês, níquel e cobalto, moídos e misturados em proporções apropriadas e prensados numa forma desejada. A esta mistura foi dado o nome de termistor. Comparados com sensores de tipo condutor (que têm coeficiente de temperatura positivo e pequeno), os termistores têm um coeficiente muito grande, podendo ser negativo (*NTC, Negative Temperature Dependence*) ou positivo (*PTC, Positive Temperature Dependence*). Enquanto alguns condutores (cobre e platina) são bastante lineares, os termistores são altamente não lineares.

O modelo PTC faz com que a resistência aumente com a elevação da temperatura. Já o modelo NTC faz com que a resistência diminua com o aumento da temperatura. O funcionamento de ambos é mostrado na ilustração 6.

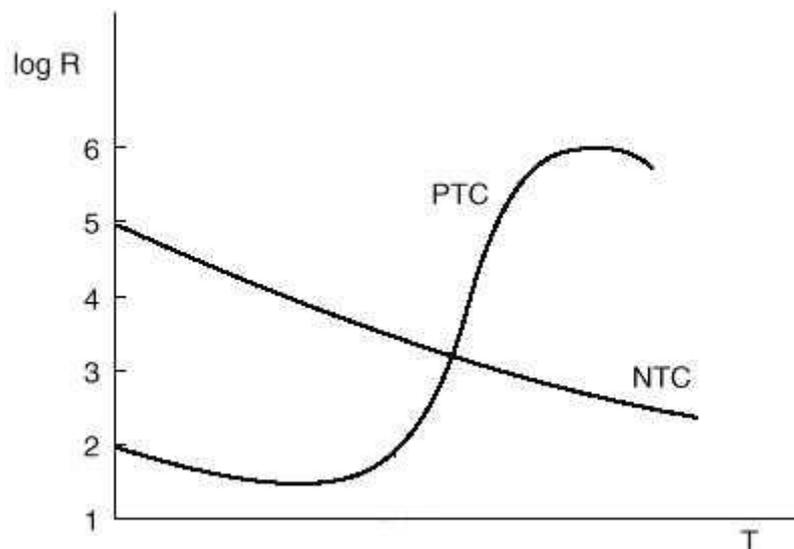


Ilustração 5. Resistência do termistor em função da temperatura [2]

O sensor tipo NTC é o mais usado na medição e controle de temperatura em função de uma maior linearidade em comparado com o modelo PTC. No sensor de coeficiente positivo, tem-se uma maior variação de resistência em função da temperatura, o que o torna mais preciso no processo, porém este tipo de sensor não apresenta uma linearidade de resposta, tornando-o seu uso mais complexo.

A estabilidade dos primeiros termistores era bastante inferior à das termo resistências metálicas, mas atualmente eles vêm apresentando uma estabilidade aceitável para muitas aplicações industriais e científicas.

## 2.4 Resistores

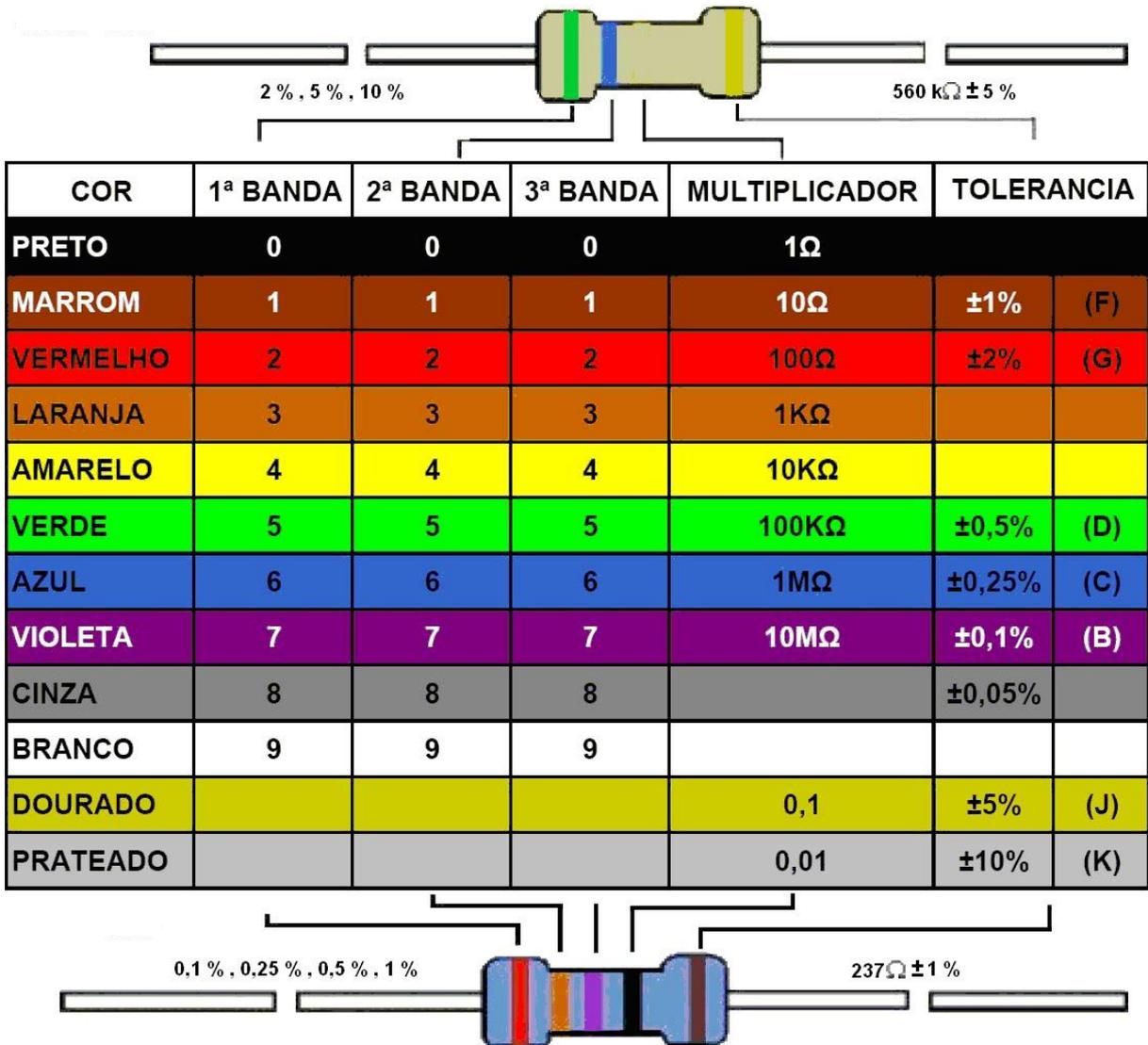
Resistores são componentes caracterizados por possuir uma resistência elétrica conhecida. Por definição, resistência elétrica é capacidade que os materiais possuem em se opor à passagem da corrente elétrica.

Os resistores se enquadram nos denominados componentes passivos, ou seja, não possuem a função de amplificar e nem gerar sinais elétricos. Sua principal função em um circuito eletrônico é a polarização e acoplamento do circuito bem como efetuar a operação de divisor de tensão.

Os resistores caracterizam-se por terem uma resistência pré-determinada em seus terminais. Sua finalidade é a oposição à passagem da corrente elétrica, que faz com que apresente uma queda de tensão em seus terminais, queda essa que será dissipada pelo resistor em forma de calor. Essa capacidade de dissipar o calor está diretamente ligada ao tamanho do resistor, sendo que, quanto mais intenso o calor dissipado, maior o tamanho do componente. O calor gerado pelo resistor deve então, ser transmitido ao ambiente ou aproveitado para transformá-lo em energia térmica.

Um exemplo de resistor e sua identificação de resistência através do código de cores é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Tabela de cores do resistor [6]



### 2.4.1 Resistores de Potência

Com a mesma característica de se opor a passagem da corrente elétrica gerando uma diferença de potencial em seus terminais, os resistores de potência são empregados em casos específicos, em que a corrente chega a valores mais elevados. A ilustração 7 mostra um comparativo de potência e tamanho dos resistores.

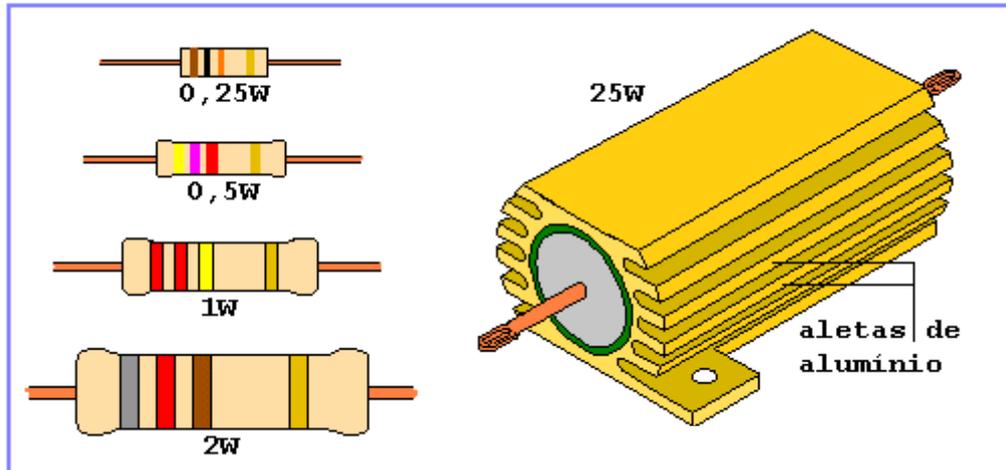


Ilustração 6. Tamanho x potência dos resistores [4]

Os resistores de maior potência possuem aletas de alumínio em sua lateral com a finalidade de transferir de forma mais eficiente o calor gerado pelo resistor ao meio. Muito utilizado também em casos que o objetivo do resistor é aquecer determinada superfície. Para isso, parafusa-se no local desejado e através do contato, auxiliando a troca de calor com pasta térmica, ocorre o aquecimento da superfície desejada.

## 2.5 Semicondutores

O que determina se um determinado material é condutor, semiconductor ou isolante é a quantidade de energia necessária para tirar um elétron da banda de valência e liberá-lo para a banda de condução. De forma geral, os semicondutores são sólidos nos quais à temperatura de  $-273^{\circ}\text{C}$ , seus elétrons preenchem todos os estados disponíveis na banda mais alta, isto é, a banda de valência.

A estrutura fundamental dos componentes denominados semicondutores, está basicamente na junção metalúrgica de dois metais, geralmente silício ou germânio, de natureza P e N diferenciados por sua composição a nível atômico. Os cristais são obtidos ao se dopar cristais de metal puro intencionalmente com impurezas (normalmente algum outro metal ou composto químico).

Ao se unir os cristais, surge uma difusão de elétrons do cristal N para o cristal P. Ao se estabelecer a corrente pela junção, aparecem cargas fixas em ambos os lados dos cristais. Essa zona é chamada de barreira interna de potencial ou zona de carga espacial, como mostra a ilustração 8 a seguir.

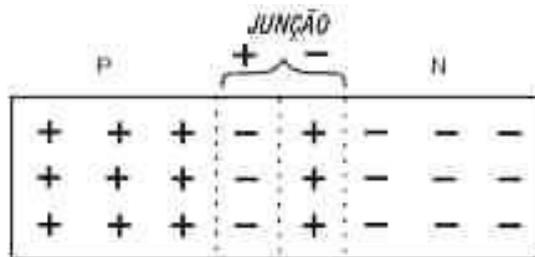


Ilustração 7. Polarização e barreira interna de potencial da junção P-N [7]

### 2.5.1 Polarização da Junção P-N

Quanto à polarização da junção dos cristais P e N, temos a direta e a inversa. Na polarização direta, tem-se o positivo da bateria conectado a zona P (ânodo) e o negativo conectado a zona N (cátodo). Nessas condições de polarização, o polo negativo da bateria repele os elétrons livres do cristal N, de modo que tais elétrons se movam para a junção P-N. O polo positivo da bateria por sua vez, atrai os elétrons livres do cristal P para a junção P-N, ou seja, os elétrons são de certa forma “empurrados” para a junção. Quando a diferença de potencial entre os polos da bateria é maior que a diferença de potencial da barreira interna de potencial, os elétrons livres do cristal N adquirem energia suficiente para saltar até as lacunas do cristal P. Uma vez que os elétrons livres da zona N saltam à zona P atravessando a barreira interna de potencial, eles se convertem em elétrons de valência (livres). Neste momento, o

elétron é atraído pelo polo positivo da bateria e se desloca até o cristal P chegando então até a bateria.

Após isto, a bateria diminui a barreira interna de potencial da junção, permitindo a passagem da corrente de elétrons através da junção P-N. Neste caso, o junção está diretamente polarizada e conduz eletricidade.

## **2.6 Efeito Seebeck**

O efeito Seebeck foi observado por Thomas Johann Seebeck em 1821. O efeito Seebeck acontece quando um circuito, composto de dois metais distintos e mantendo suas junções a temperaturas diferentes, gera uma força eletromotriz. Consiste em uma geração de tensão elétrica quando os metais recebem temperaturas externas distintas.

É importante salientar que nos diferentes metais deve haver uma diferença de temperatura para o surgimento de uma corrente elétrica. Se os dois metais forem aquecidos ou resfriados à mesma temperatura, não haverá geração de corrente.

Também não há a necessidade de resfriar um lado e aquecer o outro, apenas que haja uma diferença de temperatura entre os metais. Assim, pode-se tanto aquecer um metal e resfriar o outro, como aquecer um metal e aquecer a um nível um pouco maior o outro metal. Nos dois casos irá haver uma diferença de temperatura entre os metais. Essa diferença de temperatura é que faz surgir uma corrente elétrica.

## **2.7 Efeito Peltier**

O efeito Peltier foi observado em 1834 por Jean Charles Athanase Peltier, 13 anos após o físico Thomas Johann Seebeck ter descoberto o efeito Seebeck em 1821.

O efeito peltier é o inverso do efeito Seebeck. Enquanto no efeito Seebeck ocorre a geração de corrente elétrica através da aplicação de uma diferença de temperatura entre os metais, no efeito peltier ocorre a geração de uma diferença de temperatura entre as extremidades através da aplicação de uma diferença de potencial em seus extremos.

É definido como a produção de um gradiente de temperatura em duas junções de semicondutores de materiais diferentes quando submetidos a uma tensão elétrica em um circuito fechado.

O efeito peltier e o efeito seebeck podem ser considerados como um só, e denominado de efeito Peltier-Seebeck ou efeito termelétrico. Na verdade, são dois efeitos que podem ser considerados como diferentes manifestações do mesmo fenômeno físico.

Quando uma corrente passa através de dois metais similares e semicondutores (cristal tipo n e cristal tipo p) que estão conectados entre si e unidos a dois fios externos, é gerado uma transferência de calor sobre o componente. Essa transferência é obtida de forma que, o calor será absorvido de um lado e transmitido ao outro lado da célula peltier. Assim, o lado onde o calor será absorvido apresentará a ausência de calor, ou seja, irá resfriar. O lado em que o calor será transmitido irá aquecer. A ilustração 9 exemplifica o componente.

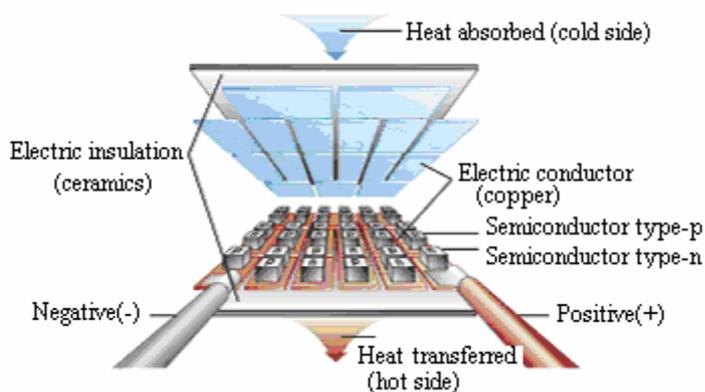


Ilustração 8. Exemplo de célula peltier [5]

Dessa forma o componente irá apresentar em seus dois lados da placa de cerâmica, dois níveis de temperatura, sendo um quente e outro frio. Na eletrônica convencional é muito fácil quando se deseja fazer com que algo aqueça. Um exemplo de componente utilizado para aquecer são as resistências elétricas utilizadas em fornos e estufas. Porém, a eletrônica possui certa deficiência quando a finalidade é a inversa, ou seja, resfriar. As células peltier é um grande salto para essa finalidade, pois trabalha de forma simples e eficaz na transferência de calor.

O efeito peltier pode ser utilizado para produzir temperaturas próximas de 0 K onde o terminal aquecido é refrigerado por Nitrogênio líquido. Tal procedimento é conhecido como ultra resfriamento termoelétrico, sendo capaz de produzir temperaturas próximas ao zero absoluto no terminal refrigerado. O ultra resfriamento por efeito peltier é utilizado também para o estudo de supercondutores e do comportamento de matérias na temperatura do espaço interestelar, onde as temperaturas são próximas a 0 K.

O que acontece de fato, não é um resfriamento de uma das placas, e sim, a retirada de calor dela e transferência para o outro lado. Quando o calor é retirado de um dos lados, consegue-se então, obter o resfriamento do componente.

A célula peltier apesar de ser uma tecnologia consideravelmente nova no mercado, vem sendo estudada em aplicações onde se deseja resfriar componentes eletrônicos. Um exemplo de componentes que precisam ser resfriados são processadores de computador, transistores de potência, triac's e muitos outros componentes utilizados na eletrônica convencional de potência.

O resfriamento de componentes de potencia é feito nos dias de hoje através de ventoinhas de bom desempenho, que retiram o calor dos componentes e empurram para fora do circuito. Na utilização da célula peltier, é importante que haja uma boa troca de calor para que o sistema se torne eficiente. Caso a troca de calor não seja satisfatória, não será possível atingir as temperaturas programadas, uma vez que a célula peltier irá aquecer na mesma intensidade e potência que resfriar.

Um outro ponto importante, é tomar cuidado com as temperaturas muito baixas, visto que se isso ocorrer, irá acontecer uma geração de orvalho na superfície fria da célula peltier, e se tratando de circuito eletrônico, irá gerar um curto circuito nos componentes eletrônicos envolvidos.

O resfriamento poderá ser feito também através da troca de calor utilizando mangueiras de água fria. Neste caso, terá uma dificuldade maior para implementar o sistema, visto que será necessário uma fonte externa de água além de mangueiras com boa vedação afim de evitar vazamentos no circuito.

Com o passar do tempo e a necessidade de utilização, as células peltier foram sendo aprimoradas a fim de melhor atender as necessidades de mercado. Com isso, elas começaram a ser fabricadas de forma sobrepostas, onde uma célula que produzia o calor já era instantaneamente retirada pela outra minimizando os efeitos térmicos. A ilustração 10 apresenta o modelo de célula com mais de um estágio e um modelo de estágio simples.

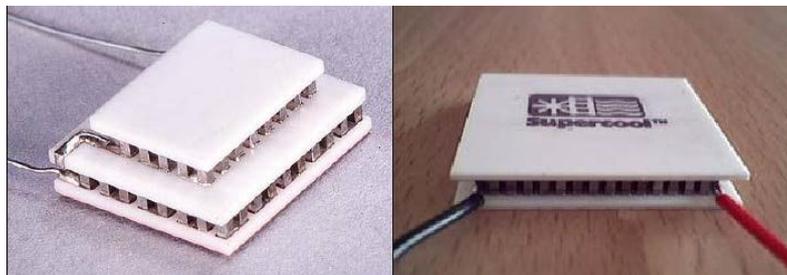


Ilustração 9. Exemplo de célula peltier com mais de um estágio e de estágio simples [11]

## 2.8 Dissipador de Calor

Dissipador de calor é o nome dado a um objeto de metal sendo geralmente feito de cobre ou alumínio, que pelo fenômeno da condução térmica e uma maior área por onde um fluxo térmico pode se difundir, maximiza o nível de dissipação térmica de qualquer superfície que gere calor. De forma mais simples, dissipadores de calor têm o objetivo de garantir a integridade de equipamentos e componentes eletrônicos que podem se danificar com o calor gerado por seu funcionamento.

Um dissipador de calor é usado se a fonte de calor possui uma elevada densidade de fluxo de calor por unidade de área. Na eletrônica, fica evidente a necessidade de dissipadores, visto que há muitos componentes de potência sendo utilizados no chaveamento de correntes mais elevadas. Como exemplo principal tem-se componentes como processadores de computadores, driver de vídeo, processadores gráficos, transistores, células peltier e qualquer outro elemento que tenha ligação direta com a temperatura envolvida no sistema.

Aos dissipadores dotados de uma ventoinha acoplada em sua superfície, dá-se o nome de cooler, sendo essas soluções ativas de refrigeração, enquanto que os dissipadores sem ventoinha são passivos nesse aspecto.

Os dissipadores passivos não são dotados de ventoinhas e por isso não tem a capacidade de resfriar superfícies que gerem grande quantidade de calor. Em equipamentos de hardware são usados em chips que geram pouco calor, como transistores de potência, diodos, resistores, pontes retificadoras entre outros. Os mesmos possuem vantagens como não gerar ruído e não consumir eletricidade

Dissipadores ativos tem uma capacidade de refrigeração muito melhor que o dissipador passivo. Com uma maior área de dissipação e uma corrente de ar passando por essa área, é possível dispersar muito mais calor, pois além da condução, há o fenômeno da convecção térmica, que ocorre quando o ar passa pela superfície do dissipador. Tem seu uso destinado a componentes que geram grande quantidade de calor, como células peltier, processadores de computador, driver de vídeo, entre outros.

O aumento excessivo da temperatura nos equipamentos e componentes eletrônicos pode ocasionar a sua queima. Em processadores, por exemplo, um aumento excessivo de temperatura pode através dos diferentes índices de expansão dos metais, causar micro rupturas na superfície do chip, ou em casos extremos sua fundição.

O calor em excesso pode derreter os minúsculos circuitos de componente ou processador caso não exista um dissipador instalado.

Outro ponto importante quando se trata de trocas de calor, e o meio da troca, visto que a superfície de onde origina o calor e o dissipador, não são meios totalmente planos. Sendo assim, deve-se utilizar algum elemento que facilite a transferência de calor, para que não ocorra pequenos pontos onde o contato entre as duas superfícies não esteja de alguma forma unidos, diminuindo assim a transferência de calor. A pasta térmica é utilizada com frequência nesses componentes, assim como a fita térmica autocolante. Estes recursos preenchem os pequenos espaços vazios que podem surgir devido à irregularidade das superfícies existentes do processo de fabricação, evitando qualquer espaçamento entre a superfície do componente e a superfície do dissipador de calor. A ilustração 11 apresenta um exemplo de dissipador de calor.

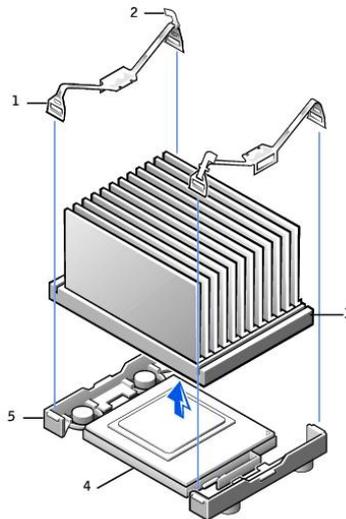


Ilustração 10. Modelo de dissipador de calor [10]

### **3 Metodologia**

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de controle de temperatura que proporcionará uma análise rápida e eficaz do comportamento de produtos como tintas, colas, chocolates entre outros, em diversas faixas de temperaturas, podendo analisar e intervir no processo de fabricação.

O sistema será implantado de forma a criar-se um instrumento de medição na área de instrumentação eletrônica. Consiste em uma base, um elemento aquecedor, um elemento resfriador e uma placa eletrônica de controle.

A base será constituída de cobre devido a suas propriedades condutoras e térmicas. Nela, será aplicado uma determinada temperatura em seus extremos onde a própria chapa de cobre se encarregará de criar um gradiente de temperatura através dos comandos da placa eletrônica de controle. Em um lado da base haverá resistores de potência, que terá a finalidade única de aquecer. O outro lado da base haverá células peltier que terá a finalidade de resfriar. Dessa forma, a placa eletrônica do circuito, fará o controle de temperatura a partir de uma faixa pré-determinada pelo usuário. Ocorrerá uma transferência de calor pela base de cobre, formando assim um gradiente de temperatura.

Nesta base, o usuário aplicará a amostra e poderá verificar o comportamento do produto em diversos pontos de temperatura de forma instantânea. Assim, será possível verificar, por exemplo, qual a temperatura que um chocolate ou uma tinta, irá começar a sair de seu estado líquido para seu estado sólido, formando na base do instrumento um filme fino e seco. Dessa forma, não será necessário parar uma linha de produção a fim de aguardar testes que hoje são feitos utilizando fornos e estufas e que levam algum tempo para termostatização e cura da amostra a ser analisada.

## 4 Modelo

Diante do aumento da velocidade em linhas de produção e a necessidade em otimizar processos industriais para atingir o mercado consumidor, surgiu a ideia de criar um instrumento que pudesse analisar o comportamento de produtos de forma rápida e eficiente em diversas faixas de temperatura. Com isso, será possível identificar possíveis falhas no processo e corrigir instantaneamente a linha de produção sem perdas de tempo para estabilização da temperatura. Será importante também para Engenharia de Materiais no que diz respeito a estabilidade térmica de embalagens a fim de garantir boa vida útil e prazo de validade de produtos até que chegue ao consumidor.

O modelo consiste basicamente em uma chapa de cobre com um elemento resfriador de um lado e um elemento aquecedor do outro, além de uma placa eletrônica que fará o controle de temperatura em faixas pré-determinadas.

O elemento resfriador será feito através de células peltier posicionadas estrategicamente a fim de obter um melhor aproveitamento da chapa de cobre. Já o elemento aquecedor será feito por resistores de potência alojados na outra extremidade da chapa de cobre. Ambos serão auxiliados na troca de calor com pasta térmica para tentar minimizar os efeitos das perdas de temperatura.

Com o elemento resfriador e o elemento aquecedor devidamente posicionados e controlados eletronicamente, a chapa de cobre irá naturalmente se encarregar de criar um diferencial de temperatura em sua extensão.

Haverá alguns ajustes de faixas de temperaturas onde será possível escolher o melhor gradiente de temperatura para observar o comportamento das amostras. Será possível, por exemplo, verificar o comportamento de tintas, colas, látex, chocolates entre outros, em vários valores de temperatura podendo de forma instantânea alterar, corrigir ou confirmar o procedimento do processo de fabricação. A ilustração 12 mostra um exemplo de como ficaria um modelo do instrumento.

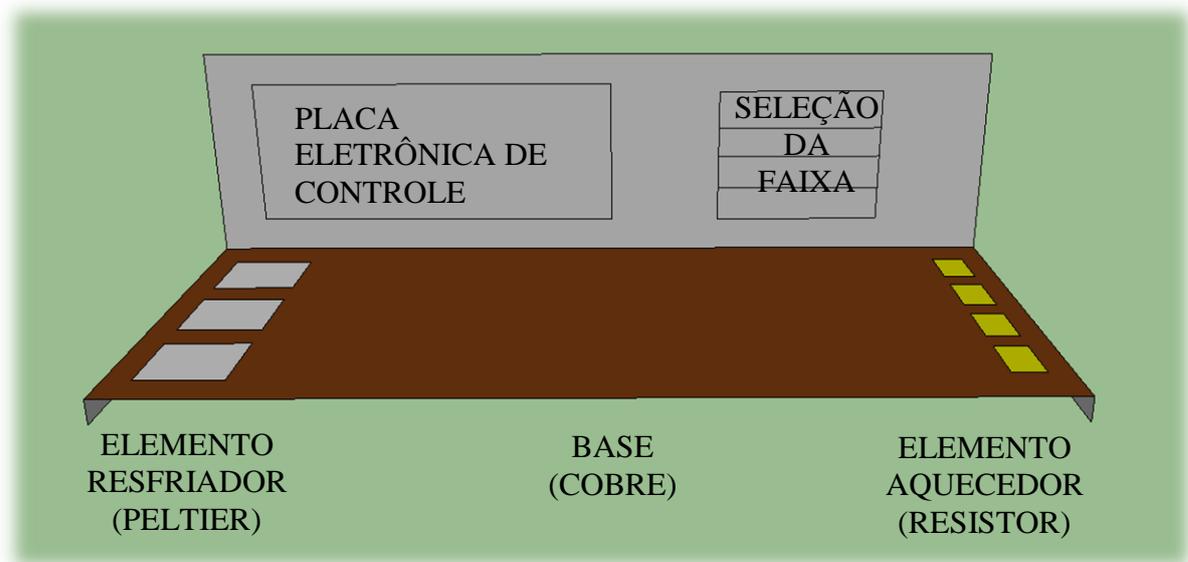


Ilustração 11. Modelo do Instrumento [Fonte Própria].

O elemento peltier será cuidadosamente posicionado a fim de evitar condensação e geração de orvalho, e com isso, o surgimento de oxidação nas trilhas do circuito eletrônico. Haverá dissipadores de calor unidos ao pelteir por pasta de térmica de boa condutividade térmica. Ventoinhas serão responsáveis por retirar o calor gerado pela célula peltier.

Haverá dois termistores nas extremidades da chapa de cobre, sendo um próximo ao sistema peltier e outro próximo aos resistores de potência. Os termistores levarão o sinal de temperatura convertido em resistência elétrica à placa eletrônica de controle que se encarregará de manter a temperatura de acordo com o valor ajustado pelo operador. Esse valor será estimado a fim de avaliar o comportamento do produto a ser analisado. Para isso, haverá algumas faixas de temperatura para que possa tornar o uso mais amplo a diversos tipos de materiais além de que, o comprimento da chapa de cobre será de um tamanho que o instrumento seja compacto e de fácil movimentação.

O instrumento terá uma dimensão aproximadamente de 60cm de comprimento, 20cm de largura e 10cm de altura.

A tabela 2 apresenta a ideia de quantidade de faixas que o instrumento terá de forma a atender grande parte de produtos no mercado.

Tabela 2. Faixas de Temperaturas [Fonte própria]

<b>Faixa</b>	<b>Temperatura Mínima [°C]</b>	<b>Temperatura Máxima [°C]</b>	<b>Diferença de Temperatura</b>
<b>1</b>	0	15	15
<b>2</b>	10	25	15
<b>3</b>	20	35	15
<b>4</b>	30	45	15
<b>5</b>	40	55	15
<b>6</b>	50	65	15

Assim, o usuário deverá escolher a faixa de temperatura que deseja analisar o comportamento do produto, aguardar um tempo para termostatização da chapa de cobre, e em seguida aplicar o produto uniformemente sobre a chapa. Se por exemplo o produto a ser analisado for um chocolate durante seu processo de fabricação. Sabe-se, por exemplo, que o chocolate sai de seu ponto líquido e passa para sólido a uma temperatura de 28°C. O usuário irá escolher a faixa de trabalho do instrumento. Neste caso a melhor faixa seria a Faixa 3, que possui um gradiente de temperatura de 20°C a 35°C. Então o usuário irá aplicar o chocolate em seu estado líquido na chapa de cobre uniformemente no sentido da esquerda para direita. Instantaneamente o chocolate irá reagir as diferentes temperaturas da chapa. Se ele estiver no ponto, será possível observar o chocolate saindo de seu estado líquido e passando por seu estado sólido em um ponto da chapa. Neste momento, com um sensor externo, o usuário irá medir a temperatura daquele ponto e assim, identificar que o processo encontra-se correto.

Caso o chocolate não passe do estado líquido para o estado sólido, a linha de processo deverá ser analisada verificando se a quantidade de condimentos encontra-se correta. Além disso, será possível analisar também qual a temperatura exata que a embalagem do chocolate deverá suportar para que chegue ao consumidor final da mesma forma que saiu da linha de produção.

## 5 CONCLUSÃO

Com o estudo de instrumentos de medição focados na análise de produtos em linhas de produção, ficou evidente a necessidade de linhas cada vez mais rápidas e objetivas que minimizem esforços e produzam com maior qualidade. A instrumentação eletrônica está cada vez mais presente nas indústrias, pois propõe um marco na automatização que cresce a cada dia.

O trabalho apresenta uma solução para um grande problema quando se fala em otimização sem perda de qualidade, quando se trata de produtos que alteram suas propriedades em função da temperatura. Um modelo de instrumento foi criado a fim de poder analisar instantaneamente um produto durante a sua fabricação, e com isso, fornecer a possibilidade de intervenção imediata no processo, melhorando sua qualidade sem perdas de tempo.

Fica evidente o crescimento de novas tecnologias que apresentam fatores primordiais e marca a tendência para o futuro da eletrônica. O efeito seebeck e o efeito peltier, são modelos claros dessas novas tecnologias, que embora descobertas em meados do século XIX, ainda é pouco estudada e aplicada.

## **5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O principal objetivo ao apresentar a ideia do modelo do instrumento foi a otimização e aperfeiçoamento da qualidade dos produtos. O trabalho contribuiu para o início de estudos mais aprofundados na instrumentação principalmente com células peltier.

O modelo criado no presente trabalho possui algumas deficiências como a necessidade de testes físicos reais e ainda a inclusão de sensores embutidos ao longo da chapa de cobre que possam selecionar pontos apresentando a temperatura exata daquele ponto.

Fica o convite aberto a novos estudos, dando continuidade a esse modelo de projeto com o intuito de aperfeiçoar o modelo de instrumento marcando novas tendências no mercado da instrumentação eletrônica.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] CAMPOS, Mario; TEIXEIRA, Herbert; **Controles Típicos de Equipamentos e Processos Industriais**. Edgard Blucher, 2006.

[2] **Controlador de Temperatura**. Disponível em <[www.simeros.com](http://www.simeros.com)>. Acesso em 10/04/2011.

[3] OGATA, Katsuhiko; **Engenharia de Controle Moderno 4 ed**. Prentice Hall, 2003.

[4] **Componentes Eletrônicos**. Disponível em <[www.feiradaciencia.com.br](http://www.feiradaciencia.com.br)>. Acesso em 22/04/2011.

[5] *Climatización Mediante Células Peltier*. Disponível em <<http://www.upcomillas.es>> Acesso em 22/04/2011.

[6] **Circuitos Eletrônicos**. Disponível em <[www.blogfisicaiees.blogspot.com](http://www.blogfisicaiees.blogspot.com)>. Acesso em 12/05/2011.

[7] **Polarização Junção P-N**. Disponível em <[www.letronet.com.br](http://www.letronet.com.br)>. Acesso em 12/05/2011.

[8] *Engineering Laboratories*. Disponível em <[www.brookfieldengineering.com](http://www.brookfieldengineering.com)>. Acesso em 22/07/2011.

[9] **Instrumentação em Ciências Térmicas**. Disponível em <[www.labtermo.ufsc.br](http://www.labtermo.ufsc.br)>. Acesso em 14/08/2011.

[10] **Dissipador de Calor**. Disponível em <[www.aarymachado.com](http://www.aarymachado.com)>. Acesso em 14/08/2011.

[11] *Custom Thermoelectric*. Disponível em <[www.customthermoelectric.com](http://www.customthermoelectric.com)>. Acesso em 29/09/2011.