

Sistema de Resfriamento de Equipamentos Industriais Utilizando Células Peltier

Patrick Pinheiro Monteiro, Anderson José Costa Sena

Instituto de Estudos Superiores da Amazônia - Avenida Gov. José Malcher, 1148 - Nazaré, Belém - PA, 66055-260

Resumo — Este trabalho apresenta uma proposta para aumentar a vida útil de módulos eletrônicos de controle dispostos em operação em áreas onde a temperatura ambiente é normalmente maior que os limites especificados por seus fabricantes. O estudo como resultado final avaliará a possibilidade de usar células de peltier como forma para reduzir a temperatura de operação para dentro de faixas admissíveis. Foi desenvolvido com base experimental simulado em laboratório em que o enfoque principal foi a eficiência da manutenção, aumentando a confiabilidade e a disponibilidade de sistemas eletrônicos de controle para a operação. Os resultados avaliados mostraram que a proposta pode ser aplicada desde que outras melhorias nos locais de instalação sejam implementados. O uso de célula de peltier é favorável para estas aplicações em substituição de sistemas de refrigeração convencionais.

Palavras-chaves — Peltier, Sistema, Resfriamento, Indústrias,

I. INTRODUÇÃO

Na atualidade e, com uma economia globalizada, para garantir a sobrevivência das indústrias, investe-se na habilidade e na agilidade para inovar de modo contínuo os processos de produção. Sabe-se que um grande salto nos resultados das receitas das grandes indústrias só acontece com mudança de paradigma[1]. Para Motta paradigma refere-se a um conjunto de crenças ou premissas sobre o que se julga verdadeiro. A principal e fundamental ideia é de se disponibilizar mecanismos que auxiliem de forma efetiva na intervenção dos ativos da produção, permitindo uma máxima confiabilidade e disponibilidade [2].

Neste contexto, a manutenção desempenha um papel estratégico nas organizações, proporcionando a confiabilidade e a disponibilidade dos processos produtivos, evitando a degradação e as falhas através da conservação adequada de seus ativos.

A manutenção passou a desempenhar papel estratégico nas organizações modernas, sendo o grande diferencial das empresas líderes em seus segmentos. Segundo os autores, na visão atual, a manutenção existe para “garantir a disponibilidade dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados”[3]. Segundo Monchy a manutenção dos equipamentos de produção é um elemento chave tanto para a produtividade das indústrias quanto para a qualidade dos produtos[4]. Laugeni e Martins corroboram com essa idéia colocando que as interrupções levam quase sempre a uma queda na qualidade[5]. Máquinas com defeito trabalhando de forma inadequada, não fabricam produtos dentro das

especificações previstas. Este movimento mundial em busca de maior qualidade e menor custo tem levado as empresas a dar à manutenção uma atenção toda especial. Além de que, devem buscar cumprir os prazos de atendimento, com a máxima segurança e baixos índices de impactos ambientais.

Através de uma análise em um determinado ambiente operacional de uma indústria situada em Barcarena, no estado do Pará, identificou-se um problema comum em empresas de transformação. Em todos os seus processos, fontes de calor são responsáveis por altas temperaturas nestes ambientes. E, como a automação de controle de processos presentes nestas áreas, requerem a instalação de equipamentos com eletrônica de alta tecnologia e sensibilidade embarcadas, a conservação destes é um paradigma para a sua manutenção. A utilização de equipamentos eletrônicos, por causa dos limites máximos especificados de temperatura para operação, reduz sensivelmente sua vida útil quando expostos a ambientes quentes. Outro fato é a impossibilidade de receber melhorias, pois não existe muitas opções no mercado para fazer a substituição de equipamentos que usam controladores microprocessados especialmente fabricados para estes ambientes. Temos como exemplo a aplicação de sistemas de controle remoto de pontes rolantes que, por causa da exposição a níveis elevados de temperatura apresentam alta taxa de falha, resultando em indisponibilidade das pontes rolantes para a operação e aumento dos custos de manutenção e produção.

O uso de sistemas convencionais de refrigeração com compressores, condensadores e evaporadores não são indicados em função da grande quantidade de água que condensam, e do alto índice de material particulado em suspensão. Este particulado acumula sobre os componentes de troca de calor, causando perda da eficiência de resfriamento, tornando-se, assim, outro ponto de manutenção sistêmica e de alto custo. No geral, este particulado é condutor de energia.

Consideramos também, que em função destes módulos estarem embalados em caixas metálicas fechadas e sem ventilação, a troca de calor com o meio externo por causa dos particulados em suspensão, não existirá. Perceberemos, assim, o aumento gradativo da temperatura em todo o sistema eletrônico. A princípio, observa-se gradientes de temperatura nos diversos componentes e, algum tempo depois, a temperatura estará elevada até mesmo em componentes que pouco aquecem, alterando seu funcionamento. Este efeito é agravado pela temperatura externa. A partir dessa problematização, buscou-se o desenvolvimento de um sistema de refrigeração com a célula peltier sem a necessidade de outros componentes utilizados em sistemas convencionais e que mantenha a temperatura dentro dos

limites de especificação de operação do sistema de controle remoto.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Fenômenos Termoelétricos.

Os fenômenos termoelétricos associam o fluxo de calor com corrente elétrica, com o objetivo de gerar energia elétrica ou térmica. Um dispositivo termoelétrico é utilizado para geração de energia, quando existe uma diferença de temperatura (gradiente de temperatura) entre seus lados frio e quente, este dispositivo cria uma corrente elétrica. Um dispositivo termoelétrico também é utilizado para geração de energia térmica, onde a direção do fluxo de aquecimento é determinada pelo sentido da passagem da corrente elétrica. Entre eles, os de grande utilidade prática são os efeitos Seebeck e o efeito Peltier. Eles são utilizados em diversas aplicações como, por exemplo: fontes alternativas de energia, conversão de energia, refrigeração, calefação, climatização, geração de energia elétrica para satélites, para missões espaciais, para estações de telecomunicação e outras grandes infinidades de aplicações.

B. Efeito Seebeck

Em 1821, o físico russo-alemão, Thomas Johann Seebeck descobriu o efeito na qual leva seu nome em homenagem. Ele observou que quando submetia 2 materiais semicondutores ou condutores a um gradiente de temperatura entre suas juntas de medição, era gerado uma diferença de potencial entre as extremidades quente e fria como mostrado na Figura 1. Esse estudo possibilitou a criação de um componente muito utilizado por engenheiros, conhecido como termopar.

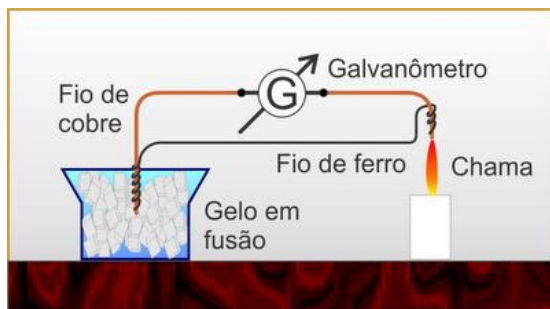


Fig. 1. Demonstração do efeito Seebeck.

A diferença de potencial V gerada pelo efeito Seebeck é dada por:

$$V = \alpha ab \Delta T$$

Sendo αab positivo se a corrente fluir da junção quente para a fria e negativo caso contrário.

C. Efeito Peltier.

O efeito de Peltier descoberto em 1834, é um fenômeno termoelétrico que produz um gradiente de temperatura (T_q e T_f) quando se aplica uma tensão em um circuito elétrico fechado que gera uma corrente que atravessa um corpo formado por uma junção de condutores ou semicondutores distintos, onde dependendo do sentido de passagem da corrente elétrica, uma das junções absorve o calor e a outra o libera. Na Figura 2 é possível observar o funcionamento do efeito Peltier.

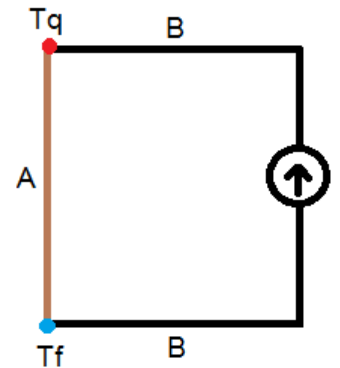


Fig. 2. Funcionamento do efeito Peltier.

$$q = \pi ab I$$

Para este efeito definimos o coeficiente peltier πab , é a quantidade de calor bombeada através da junção quando é percorrida pela corrente i .

D. Pastilhas Peltier.

A pastilha Peltier é a maneira mais prática de se utilizar o efeito peltier como refrigerador em larga escala, e consiste num arranjo de pequenos blocos de telureto de bismuto - Bi_2Te_3 dopados tipo N e tipo P como na Figura 3.

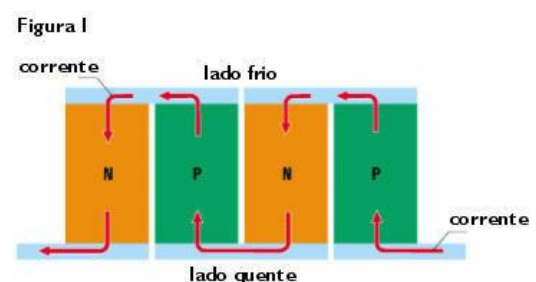


Fig. 3. Juntas P e N de um módulo peltier.

Essa série de elementos é soldada entre duas placas cerâmicas, eletricamente em série e termicamente em paralelo. Quando uma corrente DC passa por um ou mais pares de elementos de tipo-n a tipo-p, há uma redução na temperatura da junta ("lado frio") resultando em uma

absorção do calor do ambiente. Este calor é transferido pela pastilha por transporte de elétrons e emitido no outro lado ("quente") via elétrons que movem de um estado alto para um estado baixo. A capacidade de bombeamento de calor de um resfriador é proporcional à corrente e o número de pares de elementos tipo-n e tipo-p. A Figura 4 ilustra a organização estrutural de módulos peltier que são comercializados.

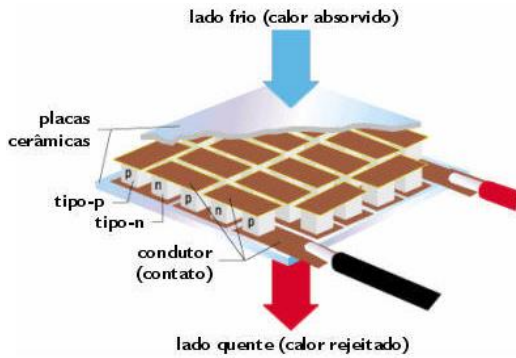


Fig. 4. Estrutura do Módulo Peltier.

Por não possuírem partes mecânicas móveis, eles são silenciosas. Em aplicações onde se exige uma temperatura estável com um controle preciso, as pastilhas termoeletricas ou pastilhas peltier são bem vindas. Elas não necessitam de manutenção, podem trabalhar em qualquer posição e podemos ter um bom controle sobre a potência de refrigeração.

III. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento desta proposta foi primeiramente realizado um estudo na literatura visando adquirir novos conhecimentos, assim como aprofundá-los e aplicá-los ao contexto pretendido. Nesta etapa pode-se defender a possibilidade de utiliza-lo em substituição aos sistemas de refrigeração convencionais. A principal ideia, para refrigerar o sistema em teste, é a troca de calor por convecção utilizando-se de óleo isolante, onde a eletrônica de um controle remoto foi imersa. Assim, o óleo circulará naturalmente dentro da embalagem, forçando as trocas entre as fontes de calor e o dissipador da célula de peltier e, consecutivamente, dissipando este calor para o meio externo.

Os dados foram coletados em condição de simulação dentro de uma câmara de climatização onde pode-se simular as variações de temperatura observadas no equipamento onde instalado o controle remoto.

A. Cronograma

O cronograma na Figura 5, foi planejado para execução em três etapas em um intervalo de três meses. A meta estabelecida foi a de identificar a partir de uma simulação o comportamento deste sistema.

O QUE	QUANDO											
	mai-14				jun-14				jul-14			
Coleta de dados	x	x	x	x								
Análise					x	x	x	x				
Conclusão									x	x	x	x

Fig. 5. Cronograma.

B. Elaboração da Estratégia de Ação

Para utilizar este sistema foi desenhada uma embalagem que proteja a eletrônica e o óleo isolante contra particulados presentes na área operacional e que possam sedimentar-se nos componentes eletrônicos, isolando-os e impedindo as trocas naturais de calor. Esta embalagem também deverá impedir circulação de óleo em pontos mortos, reduzindo, assim, a eficiência do sistema de refrigeração. Um bom isolamento térmico será necessário para minimizar a absorção de calor do meio externo e, consequentemente, provocar queda da eficiência do sistema.

A adaptação de conexões de cabos tais como alimentação elétrica, saída para placa de comutação e antena deve receber atenção especial. Esse deverá permitir facilidade de instalação e desinstalação para manutenções necessárias. A fonte de alimentação do módulo do controle remoto a principio permanecerá junto, mas possivelmente deverá ser isolada e instalada externamente ao sistema, pois é grande fonte de calor para o sistema.

Justificamos a utilização de óleo isolante quando analisamos os tipos de componentes e sua distribuição física nos cartões eletrônicos, bem como pela condição de alguns dissiparem mais calor que outros, formando gradientes elevados de temperatura. Podendo, assim, dissipar o calor gerado no meio sem aquecer além dos limites especificados.

A Figura 6 demonstra o croqui da embalagem, que terá dimensões definidas para evitar circulação de óleo em pontos mortos.

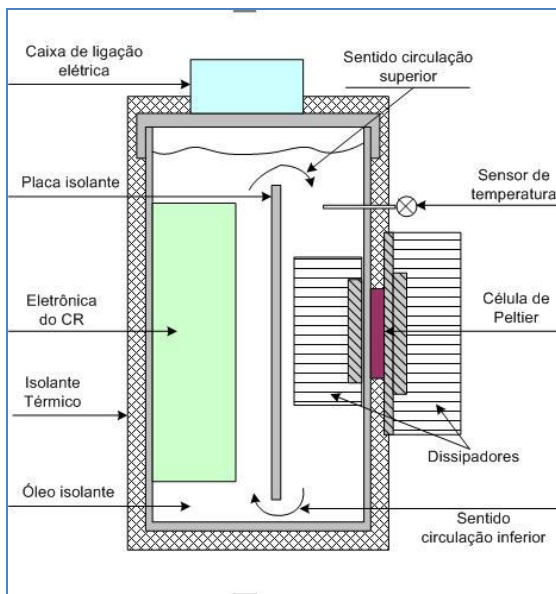


Fig. 6. Estrutura do Módulo Peltier.

Observa-se dois compartimentos separados por uma placa de material isolante. No lado onde estará instalada a célula de peltier, esta receberá um dissipador de calor pelo lado interno. No lado onde estará fixada a eletrônica do CR, sua caixa original estará aberta, ou seja, sem tampa. O óleo será preenchido com quantidade suficiente para cobrir totalmente a eletrônica e sobrepor a placa isolante. Na parte inferior a placa isolante estará suspensa em relação ao fundo a fim de permitir a passagem do óleo resfriado.

Um sensor de temperatura estará instalado no retorno do óleo para refrigeração. Este sensor será ligado ao circuito de controle de temperatura do sistema.

O protótipo será instalado em uma câmara climática onde será simulada a temperatura média do local onde será instalado definitivamente. Esta câmara possui um sistema de controle digital de temperatura. Sensores de temperatura serão instalados na embalagem do CR, um na parte inferior e um na parte superior da embalagem. Medições serão registradas através de um coletor de dados para posterior tratamento e análise.

O projeto foi desenhado experimentalmente para esta avaliação, e foi testado em laboratório e em uma câmara climática com temperatura controlada. Durante os testes, inicialmente fora montada com:

- uma célula de peltier com potência de 91w;
- uma fonte de alimentação de 12vcc, 7A;
- embalagem fabricada em chapa de alumínio;
- sistema externo de refrigeração de dissipação do calor da célula de peltier;
- isolante térmico a base de poliuretano;
- caixa de ligação em material não metálico;

O controlador de temperatura do sistema peltier foi instalado externamente a câmara. Este deverá ser instalado internamente na embalagem com algumas modificações em seu hardware. Para a realização das medições, foi planejada em duas fases:

- a primeira fase, fora da embalagem e sem refrigeração;

- a segunda fase, dentro da embalagem e imerso em óleo isolante;

Em ambas as fases consideramos todas as características de uso da área operacional para as condições de temperatura. Foi adicionado aos testes um coletor de dados modelo 34970A com placa multiplexadora modelo 34901A, de fabricação da Agilent. Este coletor foi ligado a um computador, onde utilizou-se o programa Benchlink para coletar e registrar os dados de temperatura. A este coletor foram instalados quatro sensores de temperatura tipo pt100 ohms. Conforme mostra-se na Figura 7. Dois sensores (Te-01 e Te-02) foram dispostos para medição da temperatura da câmara a fim de determinarmos a temperatura média. Os outros dois sensores (Te-03 e Te-04) foram instalados internamente a embalagem em teste. Um no fundo do recipiente para medir a temperatura do óleo refrigerado e, o outro sensor, imerso no óleo na parte superior, para medir a temperatura de retorno do óleo aquecido pela eletrônica do CR.

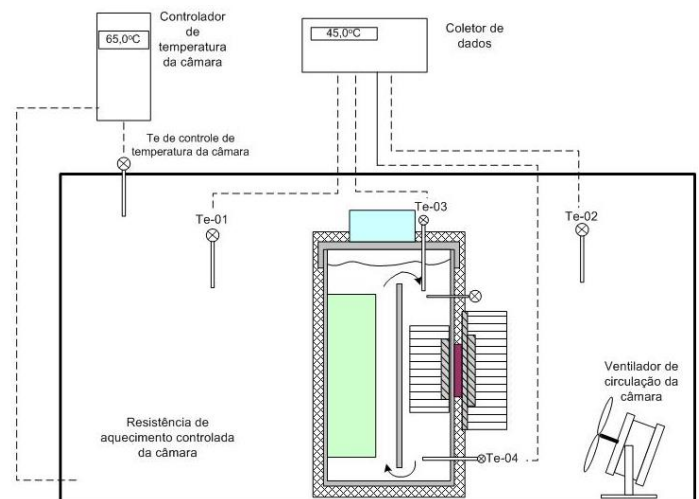


Fig. 7. Sistema de teste com câmara climática.

C. Coleta de dados, resultados e discussões

Os resultados obtidos foram satisfatórios e dentro das expectativas da proposta. Os dados coletados no programa Benchlink foram exportados e tratados no Microsoft Excel. Na Figura 8 observa-se a curva de medição média de aquecimento, conforme descrito para a primeira fase de teste, ou seja, fora da embalagem proposta e sem refrigeração. O CR, dentro de sua embalagem original, foi submetido à variação de temperatura em um intervalo de duas horas e vinte minutos e frequência de trinta medições por hora. Verifica-se uma inércia na curva de temperatura Te-03 e Te-04 em relação a média entre Te-01 e Te-02, função deste estar isolado dentro da embalagem de alumínio e de não aquecer na mesma taxa do configurado no controlador de temperatura da câmara. Considerado normal.

Uma hora após o início e, no momento da estabilização da temperatura da câmara, verifica-se que as temperaturas tendem a mesma média. A câmara tem média de 73,0oC e, a

eletrônica do CR registra média de 72,7oC. Outra inércia registrada está entre as variações provocadas na câmara e a registrada no CR.

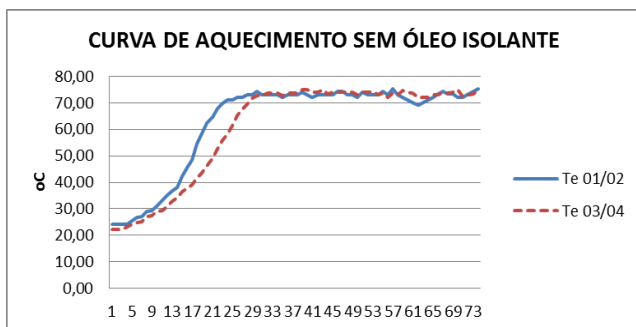


Fig. 8. Curva de aquecimento sem óleo isolante.

A Figura 9 exibe o gráfico que registrou as curvas de comportamento no intervalo de três horas e dez minutos para a etapa com óleo isolante na embalagem proposta. Em um primeiro momento, e em um intervalo de 01h20min, observamos o tempo de resposta da temperatura do óleo sem o sistema peltier em relação a temperatura da câmara. A eletrônica do CR tendeu a equilibrar na mesma temperatura do teste a seco. Consideramos também dentro da normalidade.

Em seguida o sistema peltier foi ligado. Quinze minutos depois o sistema iniciou uma reação. Ou seja, apresentou um diferença de temperatura em relação a câmara e, ambas Te-03 e Te-04 iniciaram tendência a baixar. Uma hora depois o sistema apresentou início de estabilização, mantendo-se assim por 48 minutos. A temperatura em Te-03, retorno do óleo aquecido pela dissipação da câmara, manteve-se na média de 62,9oC e 10,5oC abaixo da temperatura da câmara que foi na média de 73,4oC.

A temperatura de Te-04, após o resfriamento pelo sistema peltier, manteve-se na média de 53,0oC e 9,9oC abaixo da temperatura de Te-03 e, 20,4oC abaixo da temperatura da câmara.

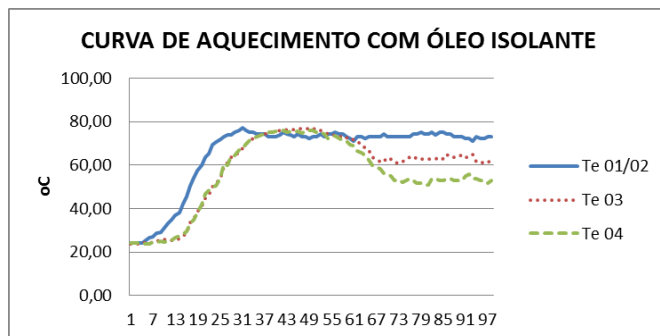


Fig. 9. Curva de aquecimento com óleo isolante.

IV. RESULTADOS

A. Comparação dos Resultados

Analisando os resultados no gráfico da Figura 10 e, registrados na tabela 1, obtidos a partir da coleta das temperaturas temos:

TABELA I COMPARATIVO ENTRE AS TEMPERATURAS NO TESTE

	Te-01 e02 Temperatur: câmara	Te-03 Temperatura retorno CR	Te-04 Temperatura saída sistema Peltier
	73,5 °C	62,9°C	53,0°C
Diferenças		Te-01/02 (-) Te-03 10,5°C	Te-03 (-) Te-04 9,9°C
			Te-01/02 (-) Te-04 20,5°C

Verifica-se a existência de diferenças entre os pontos medidos e, a eficiência do sistema testado. A redução de 20,5oC em relação a temperatura de operação é relativamente boa. Mas, o que temos de considerar de fato é a temperatura de retorno Te-03, pois é a temperatura em que parte da eletrônica do CR está operando, onde seu ganho foi de 10,5 oC. Em ambas as situações, a seco e ao óleo, o sistema em teste responde as variações do meio externo, ou seja, as variações da câmara, porém, com certa histerese. A histerese ao óleo é maior em função da massa de óleo envolvida. Com isso, as variações ocorridas ao óleo possuem amplitudes menores que as observadas na câmara.

B. Efeitos Secundários:

O principal resultado observado com a utilização de um sistema peltier foi a inexistência de um sistema de refrigeração convencional, com compressor, evaporador e condensador. Trata-se de um sistema robusto e de baixa manutenção.

Observa-se que este sistema varia a temperatura controlada quando a temperatura do meio externo também varia. Uma influência direta na eficiência da dissipação de calor do lado quente do sistema de peltier, além das características do sistema de controle de temperatura, haja vista que este necessita de uma referência externa e, como encontra-se dentro do sistema a óleo, deixa de existir.

Verificou-se também que o dissipador externo deve ser redimensionado e, possivelmente, a necessidade de instalar um ventilador sobre este para aumentar a eficiência de dissipação. Neste teste foi utilizado o ventilador de circulação da câmara diretamente sobre o dissipador, o que gerou variações.

C. Análise de viabilidade:

Uma análise de viabilidade econômica deverá indicar as condições para que os objetivos, a que um projeto se propõe a alcançar, reforcem as ações necessárias para ser alcançada. Como característica essencial em novos projetos, o estudo de viabilidade econômica deverá ser feito antes de se iniciar qualquer atividade de investimento, porém, para assegurar um resultado mais favorável, já que este trabalho é pioneiro em sistemas desta natureza, um período de testes diretamente na área operacional deve ser definido.

V. CONCLUSÃO

Neste estudo observamos que a solução com sistema de peltier apresentou resultado significativo comparado aos sistemas de refrigeração convencionais que reutilizam o ar para resfriar os equipamentos através de coolers, que se tornam ineficazes em ambientes com particulados. Nos testes puderam ser identificados outros fatores que são beneficiados com a inserção do projeto, principalmente por se estimar como ganhos para a manutenção e para a produção, que são:

- Aumento da disponibilidade das pontes rolantes;
- Redução da quantidade de intervenções da manutenção;
- Expectativa do aumento da vida útil das eletrônicas dos CR;

- Possibilidade de aplicar o projeto em outras zonas onde apresenta-se os mesmos problemas;

A viabilidade do projeto foi completamente comprovada através dos testes, simulando o ambiente de atuação do mesmo, e demonstrando de forma excelente sua capacidade de transferencia de calor.

REFERÊNCIAS

- [1] Kardec, Alan & Ribeiro, Haroldo. Gestão estratégica e manutenção autônoma. Rio de Janeiro, Qualitymark: ABRAMAN, 2002
- [2] Motta Roberto, Paulo. Transformação Organizacional. A Teoria e prática de Inovar. Rio de Janeiro: Editora: QualityMark, 1999.
- [3] Kardec, Alan & Nascif, Júlio. Manutenção função estratégica. Rio de Janeiro, Qualitymark, 2005.
- [4] Monchy, François. A Função Manutenção – Formação para a Gerência da Manutenção Industrial. São Paulo: Editora Durban, 1989.
- [5] Laugeni, Fernando Piero e Martins, Petrônio Garcia. Administração da Produção, São Paulo: Ed. Saraiva, 2002.
- [6] A. Gissoni Almeida, “Adega Climatizada para Vinhos Utilizando a Célula Peltier”, Centro Universitário de Brasília-UniCEUB
- [7] J. Daniele F.S. Fernandes, A. De Freitas Braz, L. Sayonara S.X. Machado, E. De Souza P. “Refrigeração Utilizando Pastilhas de Efeito Peltier”, IFRN 2010.
- [8] V. Gabriel Melon, “Controle de Temperatura Preditivo e Adaptativo”, Universidade Estadual de Maringá-2013.