

# UTILIZAÇÃO DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA EM MOTORES EVAPORADORES, PARA MELHOR ATENUAÇÃO DE SENSAÇÃO TÉRMICA EM UMA AGROINDÚSTRIA<sup>1</sup>

Iam Everton Roman<sup>2</sup>  
Rodrigo Konrath<sup>3</sup>  
Fabiano Faller<sup>4</sup>  
Bruno Turmina Guedes<sup>5</sup>

## RESUMO

Este artigo apresenta o estudo e desenvolvimento de meios para a atenuação dos níveis de sensação térmica, aos quais os trabalhadores de uma agroindústria estão expostos durante suas jornadas de trabalho. Tendo este como ponto alvo determinar a frequência ideal a ser parametrizada em inversores de frequência, a fim de regular a rotação dos motores evaporadores que realizam a movimentação do fluxo de ar dentro do ambiente controlado. Tal estudo foi possível através das informações técnicas dos motores que são fornecidas por seus fabricantes, através de medições in loco referentes à temperatura e fluxo de ar e por equações referentes aos mesmos. Por fim os valores encontrados foram comparados com a CLT art.253 (Consolidação das Leis do Trabalho), a fim de verificar se o ambiente em estudo pode se caracterizar como salubre ou não de maneira preliminar, sem que haja um laudo pericial de um profissional habilitado em primeiro momento. Como resultados os níveis de sensação térmica foram atenuados de acordo com os cálculos resultantes, com uma redução de aproximadamente 0,47°C quando comparados com os valores de temperatura ambiente sem correção, sendo que os valores de sensação térmica passaram de 7,3 a 7,73 °C, enquanto os valores de temperatura ambiente mantiveram-se na casa 8,2 a 8,3 °C.

**Palavras-chave:** Velocidade do fluxo de ar. Sensação térmica. Inversor de frequência.

## 1 INTRODUÇÃO

Em indústrias onde existe a necessidade de temperaturas de trabalho abaixo dos níveis normais, a refrigeração industrial é indispensável para que o processo ocorra perfeitamente. Segundo Stoecker e Jabardo (2002), para que um sistema de refrigeração seja considerado industrial, o mesmo deve apresentar uma faixa de temperatura em que seus limites inferiores trabalhem em regimes que podem chegar à casa dos – 70 °C, enquanto seus níveis superiores devem atingir no máximo 15 °C.

Moran et al. (2005) descrevem que o sistema de refrigeração a vapor tem como objetivo proporcionar um diferencial de temperatura entre um meio interno e um meio externo. Ainda

---

<sup>1</sup> Pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, pela UCEFF.

<sup>2</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica da UCEFF. E-mail: iam\_everton@yahoo.com.br.

<sup>3</sup> Docente do curso de Engenharia Elétrica da UCEFF Faculdades. E-mail: konrath@uceff.edu.br.

<sup>4</sup> Docente do curso de Engenharia Elétrica da UCEFF Faculdades. E-mail: fabiano.faller@uceff.edu.br..

<sup>5</sup> Docente do curso de Eng. Mecânica. E-mail: brunoguedes@uceff.edu.br.

complementando os autores, dentro deste sistema o processo de refrigeração ocorre pela circulação intermitente de algum tipo de agente refrigerante através de inúmeros componentes que estão ligados em série dentro de uma malha fechada de operação.

Por este motivo, em sistemas elementares de bombas de calor, cada equipamento presente no circuito detém uma função diferente, como, por exemplo, pressurização, evaporação, compressão, expansão e liquefação. Complementando este pensamento, Moran et al. (2005) explicam que o refrigerante em uso sofre alterações em suas fases ao longo do perímetro, apresentando-se quer seja em estado líquido, em vapor ou bifásico (vapor e líquido).

Em setores alimentícios de resfriados e congelados, os níveis de temperatura detém grande importância em todo o processo, pois este é responsável pela conservação dos produtos pertinentes a produção. Stoecker e Jabardo (2002) asseguram que, em geral, os alimentos apresentam um ciclo de duração maior quando expostos a baixas temperaturas, sendo que na maioria dos casos isso ocorre sem que os alimentos percam suas características físicas e nutricionais. Ainda seguindo nesta ótica, os níveis nutricionais dependem do método de conservação e do tipo de alimento.

Com base nos dados obtidos do Ministério da Agricultura, o Serviço de Inspeção Federal (SIF) é o agente responsável por assegurar a qualidade de produtos de origem animal comestíveis e não comestíveis destinados tanto ao mercado interno quanto externo, bem como de produtos importados (BRASIL, 2019).

Deste modo os processos de controle e qualidade desempenhados pelo SIF são extremamente rígidos, e abrangem todo o ciclo de produção, como, por exemplo, qualidade da matéria prima, limpeza do ambiente, métodos de processo, armazenagem, controle de temperatura, dentre outros. Assim sendo, caso estas etapas não sejam rigorosamente cumpridas, o órgão detém o poder de tomar as providências cabíveis de acordo com a circunstância, que compreende desde uma parada de produção até a condenação de todo um ciclo já finalizado (BRASIL, 2019).

A temperatura em um ambiente frigorífico sem sombra de dúvidas é um dos fatores determinantes para que o produto em questão tenha um nível de qualidade satisfatório, para que haja a liberação dos produtos pelos órgãos fiscalizadores competentes, e para que o consumidor final não corra nenhum risco ao consumi-los. Porém estes níveis de temperatura abaixo dos padrões devem afetar minimamente os trabalhadores que realizam as atividades presentes nestes processos. Conforme Kroemer e Grandjean (2005), a exposição a baixas temperaturas

provoca uma diminuição mental considerável ao corpo humano, deste modo os níveis de concentração e alerta são afetados diretamente.

Deste modo para que haja um equilíbrio entre a temperatura ideal de trabalho que abrange o processo e os respectivos trabalhadores, é necessário um estudo adequado do controle da sensação térmica nestes ambientes, através da determinação ideal da frequência aplicada aos motores elétricos de indução que serão controlados por inversores de frequência. Desta forma, **como deve ser determinada a frequência ideal a ser aplicada aos inversores, de modo que ocorra a atenuação da sensação térmica ambiente a padrões desejados sem que interfira no processo de produção?**

Portanto, o objetivo geral deste trabalho é determinar o valor ideal de frequência a ser aplicado em motores elétricos de indução trifásicos por meio de inversores de frequência. Os objetivos específicos deste estudo são: Identificar a temperatura e sensação térmica ambiente, dimensionar os valores desejados baseados nas medições, comparar resultados com as regulamentações vigentes, aplicar os resultados desenvolvidos e realizar medições para validar o estudo.

Este estudo justifica-se pela necessidade de melhoramento no gerenciamento dos níveis de sensação térmica, a fim de melhorar o bem estar pessoal em um setor de uma agroindústria onde os baixos níveis de temperatura causavam desconforto térmico aos colaboradores durante suas jornadas de trabalho. O estudo por sua vez tomou como base as normas vigentes NR 15, NR 36 e a CLT Art. 253 que são relacionadas às condições de trabalho que os trabalhadores estão expostos.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO**

Em ambientes frigoríficos os níveis de temperatura abaixo do padrão normal são de suma importância para que seja possível a melhor conservação dos alimentos perecíveis presentes no processo. Stoecker e Jabardo (2002) asseguram que, em geral, os alimentos apresentam um ciclo de duração maior quando expostos a baixas temperaturas, sendo que na maioria dos casos isso ocorre sem que os alimentos percam suas características físicas e nutricionais.

A refrigeração em si é o processo de troca térmica efetuada sobre um corpo ou espaço a fim de diminuir sua temperatura original a níveis desejados. Para que este processo ocorra é necessária uma gama de equipamentos interligados entre si, pelos quais circulará um determinado agente refrigerante responsável por esta troca entre meios (SILVA, 2005).

De acordo com Castro (2013), em sistemas de refrigeração o uso de agentes refrigerantes é indispensável, pois estes ao mudar de estado ganham ou perdem energia térmica para que seja possível realizar a remoção ou adição de temperatura no ambiente. Durante o processo de condensação, o vapor passa ao estado líquido através da remoção da energia existente no fluido por meios mecânicos, enquanto o estado de evaporação ocorre através da troca térmica existente entre o fluido e o ambiente.

Para que um determinado fluido seja considerado eficiente em sistemas frigoríficos, o mesmo deve possuir um bom valor de entalpia, conforme pontua Castro (2013), em que destaca que entalpia é a capacidade de energia térmica que uma substância possui. Em fluidos refrigerantes quanto maior for o nível de calor sobre o mesmo, maior será seu nível de entalpia.

Sistemas de refrigeração que possuem  $\text{NH}_3$  (amônia) como agente refrigerante são basicamente compostos por um determinado sistema mecânico para realizar o processo de troca térmica, como vasos de pressão, compressores, bombas injetoras de líquidos, trocadores de calor e sistemas evaporativos todos em um sistema de malha fechada. Costa (1982) relata que qualquer tipo de reação química endotérmica pode ser utilizada para produção de frio, sendo eles subdivididos entre sistemas de arrefecimento, resfriamento e congelamento.

De acordo com Castro (2013), os processos que constituem um circuito termodinâmico e seus equipamentos podem ser divididos em 4 etapas, conforme o Quadro 1:

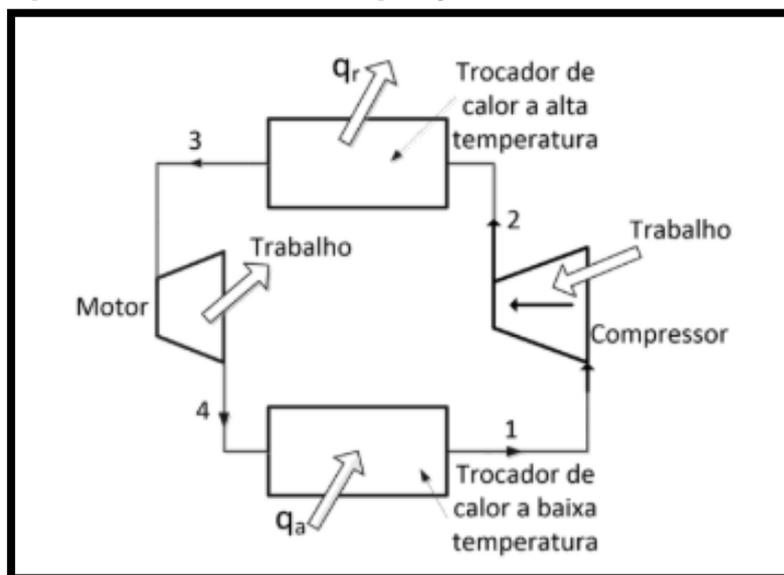
#### **Quadro 1 – Etapas do processo de refrigeração**

1º Compressor:	Através do sistema de sucção existente no compressor de líquido, o fluido refrigerante em pressão de saída do evaporador é sugado para dentro do compressor e comprimido até o ponto de condensação, porém em níveis de temperatura maior do que em condições normais.
2º Condensador:	O líquido condensado em alta temperatura é expelido pela descarga do compressor do produto, sendo descarregado diretamente no condensador, onde é resfriado por meio de exaustão forçada em conjunto com um sistema de circulação de água ou ar. Neste, o fluido circula por um sistema de serpentinas para que ocorra a diminuição de temperatura a ponto de tornar-se líquido saturado novamente.
3º Expansão:	O líquido condensado vindo do condensador é pressurizado ao regime de operação pré-definido. A expansão pode ser realizada logo após a saída do condensador ou até mesmo na entrada do evaporador, por meio de válvulas de expansão termostática ou capilares.
4º Evaporador:	Quando o líquido pressurizado adentra o sistema de serpentinas existentes no evaporador, o processo de troca térmica constante se dá entre o meio interno e o externo.

Fonte: Adaptado de Castro (2013)

Já, a Figura 1, exemplifica as informações expressas no Quadro 1.

**Figura 1 - Processo de refrigeração industrial**



Fonte: Stoecker e Jabardo (2018).

De acordo com Stoecker e Jabardo (2002), existem recipientes de líquido com diferentes finalidades. Os recipientes podem ser exclusivos para o armazenamento do líquido refrigerante existente em todo o circuito e recipientes separadores de líquido, que, por sua vez, realizam o processo de separação do agente refrigerante em suas diferentes fases, (líquido e gasoso). Este por sua vez possui a finalidade de evitar que o líquido do sistema seja succionado pela unidade compressora.

O compressor de um sistema de refrigeração a vapor é o elemento responsável pelo recolhimento de toda a carga térmica existente no sistema pós-evaporador, e descarga do líquido pressurizado no sistema de condensadores evaporativos, promovendo assim o reprocesso do fluido refrigerante. Moran e Shapiro (2011) asseguram que este é denominado compressor, pois tem como substância de trabalho elementos em forma de vapor.

Stoecker e Jabardo (2002) afirmam que o evaporador é o elemento que realiza de forma indireta a interligação entre o sistema de líquido pressurizado e o meio que será realizado a troca térmica. Sendo constituído por uma carcaça, motores elétricos, hélices, serpentinas, aletas e válvulas de expansão, que realizam o processo da circulação da massa e de ar e a troca térmica ente os meios.

Costa (1982) cita que em sistemas de refrigeração as válvulas mecânicas de expansão são utilizadas para alterar a pressão do agente refrigerante a tal ponto que o mesmo sofra alterações em seu estado físico de acordo com a abertura das válvulas ou diâmetro do orifício em que o fluido é forçado a passar. Silva (2005) argumenta que o agente refrigerante é

novamente pressurizado na entrada do condensador através de uma válvula de expansão, sendo necessário este reprocesso devido à condensação decorrente das perdas de carga provenientes do percurso em que o mesmo percorre. Assim sendo, o sistema assegura que a troca térmica desejada seja atingida.

## 2.2 SENSACÃO TÉRMICA NO AMBIENTE DE TRABALHO

A sensação térmica nada mais é do que a percepção da temperatura ambiente sentida pelo corpo humano, porém esta é diferente da temperatura real ambiente, pois fatores como a umidade relativa e a velocidade do fluxo de ar influenciam na transferência de calor entre o meio ambiente e o corpo. Ruas (1999) relata que a sensação térmica sentida pelo corpo humano pode ser diferente de acordo com o biotipo de cada pessoa.

A temperatura e a sensação térmica em um ambiente de trabalho podem ser as mais adversas possíveis devido às características de cada processo em questão, porém estas devem ser adequadas ao ponto em que haja equilíbrio entre o ambiente de trabalho e as pessoas que estão inseridas nele. Ruas (1999) afirma que o conforto térmico afeta diretamente no bem estar pessoal e fisiologia humana, e é de suma importância pois, em ambientes onde estes níveis são adequados existe uma melhor pré-disposição das pessoas em relação ao trabalho e um menor índice de doenças ocupacionais, enquanto em ambientes onde estes são desfavoráveis, a indisposição ao trabalho se torna maior tal como o aumento dos níveis de doenças ocasionadas pela exposição ao frio.

O processo de troca térmica sempre ocorre do meio mais quente para o meio mais frio, deste modo uma pessoa pode receber ou perder calor corporal dependendo do meio em que está submetida. Grandjean (1998) relata que a troca térmica no corpo humano pode ocorrer de três maneiras. O Quadro 2 apresenta o processo de troca térmica no corpo humano através do ambiente.

### Quadro 2 - Processo de troca térmica no corpo humano

1° Convecção:	Por convecção quando a temperatura do ar é menor do que a corporal, deste modo a temperatura do corpo é transferida para o ar.
2° Radiação:	Onde um corpo quente transfere calor para um corpo frio através de ondas eletromagnéticas.
3° Evaporação:	Neste quando a convecção e radiação se torna insuficiente para regular a temperatura corporal, deste modo a pele começa a transpirar, a fim de aumentar os níveis de troca térmica através da evaporação do líquido sudorífero.

Fonte: Adaptado de Grandjean (1998).

Os fatores externos influenciam diretamente nos níveis de conforto e troca térmica do corpo humano. Desta maneira a regulação térmica de um ambiente possui diversas variáveis, que podem ser trabalhadas a fim de tornar o espaço em questão o mais adequado possível. De acordo com Ruas (1999), os fatores determinantes que influenciam os níveis de temperatura corporal do ser humano são definidos basicamente pela temperatura do ar, ventilação ambiente, umidade relativa do ar e tipo de vestimenta.

Contribuindo com o exposto anterior, o ANEXO N.º 9 da NR 15 relata que:

As atividades ou operações executadas no interior de câmaras frigoríficas, ou em locais que apresentem condições similares, que exponham os trabalhadores ao frio, sem a proteção adequada, serão consideradas insalubres em decorrência de laudo de inspeção realizada no local de trabalho (ABNT, 2018a, p 61.).

Para que a integridade física dos trabalhadores seja mantida, o Ministério do Trabalho desenvolveu uma norma regulamentadora exclusivamente para ambientes frigoríficos de abate, processamento de carnes e derivados, sendo esta intitulada como NR 36.

O objetivo desta Norma é estabelecer os requisitos mínimos para a avaliação, controle e monitoramento dos riscos existentes nas atividades desenvolvidas na indústria de abate e processamento de carnes e derivados destinados ao consumo humano, de forma a garantir permanentemente a segurança, a saúde e a qualidade de vida no trabalho, sem prejuízo da observância do disposto nas demais Normas Regulamentadoras (ABNT, 2018b, p 01.).

Ainda contemplando a NR 36, a mesma relata quais devem ser as medidas preventivas necessárias para eliminar os riscos existentes ou então mitigá-los tanto quanto possível, partindo do pressuposto de quem gera o risco deve eliminá-lo ou então minimizá-lo. Deste modo a integridade física dos trabalhadores é assegurada quando expostos a condições anormais.

Devem ser adotadas medidas preventivas individuais e coletivas - técnicas, organizacionais e administrativas, em razão da exposição em ambientes artificialmente refrigerados e ao calor excessivo, para propiciar conforto térmico aos trabalhadores.

As medidas de prevenção devem envolver, no mínimo:

- a) controle da temperatura, da velocidade do ar e da umidade;
- b) manutenção constante dos equipamentos;
- c) acesso fácil e irrestrito a água fresca;
- d) uso de EPI e vestimenta de trabalho compatível com a temperatura do local e da atividade desenvolvida;
- e) outras medidas de proteção visando o conforto térmico (ABNT, 2018b, p 10.).

De acordo com artigo 253 da consolidação das leis do trabalho, um ambiente pode ser considerado frio quando os níveis de temperatura são menores dos que os indicados de acordo com as zonas climáticas.

Considera-se artificialmente frio, para os fins do presente artigo, o que for inferior, na primeira, segunda e terceira zona climática do mapa oficial do Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio, a 15 °C (quinze graus Celsius), na quarta zona a 12 °C (doze graus Celsius), e nas quinta, sexta e sétima zonas a 10 °C (dez graus Celsius) (CLT, 2017, p 50.).

Como não existem bibliografias ou normas que tratem exclusivamente dos níveis de sensação térmica em ambientes, podem ser adotadas como bases as informações presentes na ISO 7730/94, como deve ser estimado o ambiente térmico adequado através do PPD (Porcentagem of dissatisfied). A norma ISO 7730/94, destaca que um recinto é considerado termicamente confortável quando o PPD não supera o valor de 10 %, ou seja, quando o número de pessoas insatisfeitas não ultrapassa 10 % dos envolvidos.

Stoecker e Jabardo (2002) trazem conhecimento ao público que em alguns processos produtivos como, por exemplo, os frigoríficos, os baixos níveis de temperatura são essenciais para que a perecibilidade dos produtos seja mantida. Deste modo para que o conforto térmico das pessoas que ocupam estes espaços e a temperatura ideal aplicada sobre os produtos trabalhem em conjunto, uma das variáveis que pode ser alterada sem modificar a temperatura ambiente é a velocidade do ar que é exercida através dos motores evaporadores, alterando assim os níveis de sensação térmica aplicada, tal conceito é representado pelas seguintes equações.

$$TC = T + C (33,3 - T) / 73,3 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$S < 8 \frac{\text{km}}{\text{h}} \rightarrow C = -0,4488 * S \quad (2)$$

$$S > 8 \frac{\text{km}}{\text{h}} \rightarrow C = 14,81 - 2,682 * S + 0,055041 * S^2 - 0,000575 * S^3 + 0,000002402 * S^4 \quad (3)$$

TC = Sensação térmica [°C];

T = Temperatura [°C];

S = Velocidade do vento [km/h];

C = Coeficiente adimensional baseado na velocidade do fluxo de ar.

Quayle e Steadman (1998) asseguram que para o cálculo de sensação térmica em ambientes frios, os valores referentes à umidade relativa do ar não influenciam significativamente na determinação da sensação térmica, deste modo os mesmos podem ser desconsiderados.

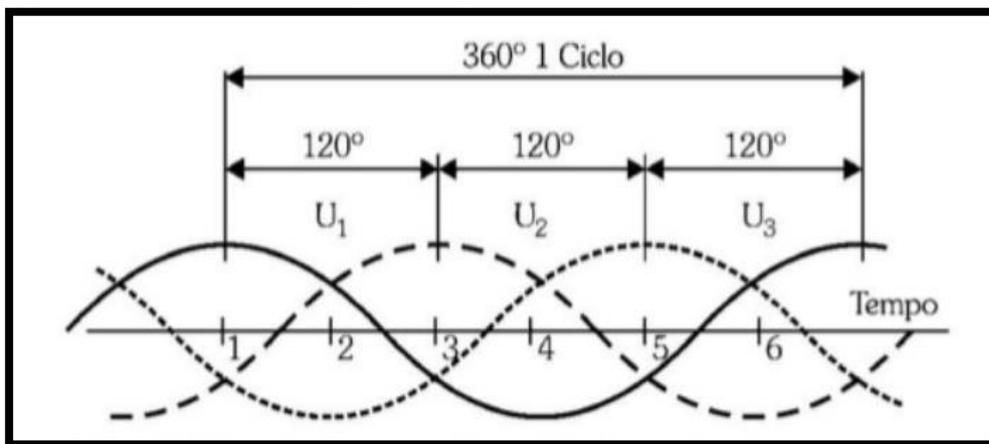
### 2.3 MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICO ASSÍNCRONOS

O motor elétrico é um equipamento eletromecânico amplamente utilizado em inúmeros processos sendo eles industriais ou não. Franchi (2011) descreve que entre 70 % e 80 % de toda a energia consumida nas indústrias é proveniente dos motores elétricos de indução.

Os motores elétricos são máquinas girantes que transformam energia elétrica em mecânica. A movimentação do eixo de um motor só é possível eletricamente, quando um campo magnético girante existir em seu estator, sendo que este por sua vez é responsável por induzir e criar um segundo campo magnético no rotor. Deste modo, o campo presente no rotor tende a seguir o campo do estator, proporcionando assim a sua movimentação (PETRUZELLA, 2013).

Para que ocorra o surgimento dos campos magnéticos em um motor, é necessário que o mesmo seja alimentado por uma fonte externa, no caso em específico a alimentação é feita através de uma rede trifásica. Os motores elétricos trifásicos são constituídos por três enrolamentos monofásicos defasados  $120^\circ$  entre si. Conseqüentemente os campos e as correntes induzidas em seu interior seguem a mesma linha de angulação, deste modo cada enrolamento deve ser ligado a uma fase distinta que possua o mesmo defasamento entre si (FRANCHI, 2011). A Figura 2 demonstra o defasamento angular em um sistema trifásico.

**Figura 2- Defasamento angular equilibrado em um sistema trifásico**



Fonte: Franchi (2011).

De forma genérica, a velocidade de um motor pode ser estimada de duas maneiras, através da velocidade síncrona e real. Petruzella (2013) esclarece que ao se energizar as bobinas de um estator, existirá o surgimento de um campo magnético girante. Esta movimentação do campo ao redor do estator é chamada de velocidade síncrona enquanto a real refere-se à

velocidade de rotação do eixo. Esta por sua vez sempre está atrasada em relação à síncrona, este atraso é denominado de taxa de escorregamento, que é expresso pela equação a seguir.

$S\% = \frac{ns-n}{ns} * 100$	(4)
-------------------------------	-----

$ns$  = Velocidade síncrona [RPM];

$n$  = Velocidade rotórica [Hz];

$S\%$  = Taxa de escorregamento [%].

Ainda complementando a ideia do autor, a velocidade do campo magnético pode ser alterada de acordo com a frequência da rede de alimentação e através do número de polos que o motor apresenta porém este último é uma característica constritiva de cada motor, não podendo ser alterado. Deste modo a velocidade síncrona é proporcional às variações de frequência e é inversamente proporcional ao número de polos, sendo esta velocidade em RPM (Rotações por minutos) expressa pela equação a seguir.

$S = \frac{120 * F}{P}$	(5)
-------------------------	-----

$S$  = Velocidade síncrona [RPM];

$F$  = Frequência da rede de alimentação [Hz];

$P$  = Número de polos em cada um dos enrolamentos monofásicos.

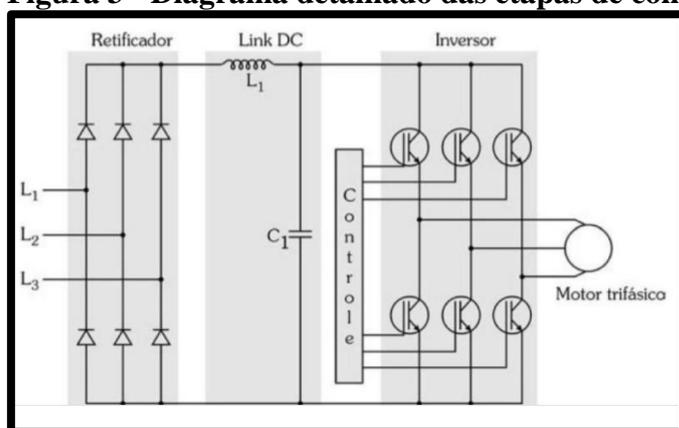
Conforme a equação (5), a velocidade de um motor para aplicações onde não se deseja utilizar a rotação nominal do motor (considerando escorregamento), pode ser alterada mais facilmente através da variação de frequência da rede de alimentação.

### 3.3 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Em inúmeros processos, sejam industriais ou não, existe a necessidade de controle do torque e velocidade dos motores de indução trifásicos que são aplicados em equipamentos mecânicos de produção, para que haja um melhor desempenho e controle de todo o processo a fim de se obter os melhores resultados no produto final. Deste modo, os inversores de frequência são um dos melhores meios indicados para este fim. Franchi (2008) afirma que antes dos inversores de frequência, este controle era feito através de motores de corrente contínua, o que acarretava custos elevados a sua implantação devido as suas características peculiares.

Os inversores de frequência são amplamente utilizados em instalações industriais com o intuito de melhorar as aplicações e desempenho dos equipamentos através da variação de frequência e tensão. Regô Segundo e Rodrigues (2015) relatam que o componente denominado inversor de frequência, é um meio eletrônico que possui três estágios de conversão de tensão, sendo que converte os valores senoidais de entrada para valores contínuos em seu interior, e posteriormente são novamente convertidos para valores senoidais em sua saída, porém com níveis de tensão e frequência variáveis. A Figura 3 demonstra o diagrama interno de um inversor de frequência.

**Figura 3 - Diagrama detalhado das etapas de conversão de um inversor de frequência**



Fonte: Franchi (2011).

O princípio de funcionamento dos conversores CA-CC-CA é baseada em chaveamentos ultrarrápidos através de tiristores. Martins e Barbi (2005) pontuam que existe uma ordem de abertura e fechamento coordenados, em pares e com o mesmo tempo de duração entre os componentes do circuito para que seja possível a conversão de CC para CA, possibilitando assim a alimentação da carga em CA.

O chaveamento dos tiristores dentro de um inversor de frequência é realizado a partir de um CPU, que dita à velocidade de abertura e fechamento do conjunto de tiristores. Deste modo a corrente contínua é convertida novamente para corrente alternada, porém com os valores de frequência alterados de acordo com a velocidade de comutação interna realizada pelo inversor, ou seja, o valor da frequência de saída é totalmente independente dos valores de frequência de entrada (FRANCHI, 2011).

Quando os inversores são aplicados em motores de indução trifásicos (MIT), os valores de rotação e torque são alterados de acordo com os valores parametrizados no inversor. Deste modo os processos industriais se tornam mais eficazes devido ao melhor controle das variáveis desejadas. Regô Segundo e Rodrigues (2015) afirmam que a rotação e o torque de um motor

variam de acordo com os níveis de tensão e frequência aos quais é aplicado, podendo ser maior ou menor do que o seu valor nominal de acordo com estas variáveis, sendo que através da utilização de inversores estes componentes podem ser ajustados entre 0,5 e 400 Hz em aplicações normais.

Através da modulação da frequência que é aplicada aos terminais de um motor, é possível realizar o melhor controle de velocidade da máquina girante, porém para que o torque seja constante e proporcional com estes valores, alguns pontos devem ser levados em consideração. Conforme Franchi (2008), para que o torque em um motor seja constante em diferentes níveis de velocidade, a variação de tensão e frequência aplicada no estator deve ser proporcional.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 ESCOLHA DO LOCAL**

Devido às inúmeras queixas relacionadas ao desconforto térmico presente em alguns setores da agroindústria, optou-se por escolher o setor de salga, pois este apresentava os maiores índices de reclamações referentes a este problema. Deste modo foram agendadas juntamente com os responsáveis pelo setor três visitas para realizar as coletas de informações sobre o processo de produção e coleta de dados técnicos.

#### **3.2 PRIMEIRA VISITA**

Durante a primeira visita juntamente com os responsáveis pelo setor, foram coletadas informações de produção a fim de entender as etapas do processo, tais como temperatura de trabalho, tipo de matéria prima, como são armazenadas e processadas. Deste modo, os produtos do setor são destinados à linha de defumados, portanto os mesmos são salgados e ficam em repouso sobrepostos entre si por alguns dias, para que o sal penetre por inteiro na carne, sendo que a temperatura padrão do setor não deve exceder os 10 °C, a fim de garantir a integridade física do produto.

Através da primeira coleta de dados foi possível entender como é realizado o processo diário do setor, e quais eram os pontos críticos que deveriam ser analisados e estudados para

propor uma solução para a sensação térmica que atingia os trabalhadores sem que a integridade física do produto fosse alterada.

### 3.3 SEGUNDA E TERCEIRA VISITA

Após a primeira visita foram constatados quais eram as variáveis que poderiam ser trabalhadas para melhorar o setor. Foram marcadas mais duas visitas ao setor, a fim de realizar as coletas de dados técnicos: quantidade de motores evaporadores, valores da temperatura ambiente e velocidade do fluxo de ar (as medidas foram coletadas em diversos pontos da sala a fim de obter-se maior precisão de resultados durante a resolução dos cálculos). A terceira visita serviu como réplica da primeira visita, com a finalidade de verificar se haviam alterações significativas de temperatura e do fluxo de ar do ambiente de acordo com a quantidade de matéria prima armazenada no setor.

Durante o processo de coleta de dados foram utilizados alguns equipamentos específicos para cada finalidade. Deste modo para os valores de velocidade do vento oriundas dos motores evaporadores, foi utilizado um anemômetro digital (AKSO AK800) com escala programada para medições em quilômetros por hora (km/h), enquanto para os níveis de temperatura ambiente foi utilizado um termômetro digital (AKSO AK161) com escala programada para graus Celsius (°C).

Para coletar os dados dos dois motores WEG presentes no setor, foi realizada a leitura das placas de identificação existentes nos mesmos, nelas foram coletadas, informações de potência (3 CV/2200W) frequência nominal (60 Hz), rotações por minuto (1140 RPM), tensão nominal (220/380 V), corrente nominal (10,2/5,91 A) e tipos de fechamento ( $\Delta/Y$ ). A Figura 3 trás os dados de placa do motor em questão.

**Figura 3- Placa de identificação do motor**



Fonte: Dados da pesquisa (2019).

### 3.4 ANÁLISE E ESTUDO DE DADOS

Com base em todos os dados coletados durante as visitas, deu-se início ao estudo de dimensionamento para a frequência ideal que deveria ser aplicada aos parâmetros do inversor de frequência para realizar o controle da velocidade dos motores, a fim de reduzir o fluxo de ar gerado pelas hélices, conseqüentemente atenuando os níveis de sensação térmica. Para o dimensionamento da frequência ideal foram utilizadas as informações de placa dos motores, valores de medições in loco e as equações (1), (2) e (5).

Durante o desenvolvimento dos cálculos tomou-se o cuidado de manter o mais constante possível os níveis de temperatura ambiente, a fim de garantir a qualidade e integridade física do produto que lá estava armazenado, desta forma existia a condição em que o limite máximo de sensação térmica que poderia ser alterado no setor não poderia ultrapassar a temperatura ambiente pré-estabelecida. Para uma melhor análise do estudo, os resultados foram comparados com alguns itens referenciados nas normas e na CLT art. 253 citadas no artigo.

### 3.5 EXECUÇÕES FÍSICAS DO ESTUDO

Com base nos dados de potência dos motores foi dimensionado um inversor de frequência (SIEMENS SINAMICS, modelo G120/10hp) que foi interligado aos dois motores. Também foram determinados os componentes necessários para a montagem do quadro de comando e força que faz o controle de velocidade dos motores. Após a montagem, instalação e

ligação do quadro de comando e força, foram realizadas as parametrizações do inversor com a frequência encontrada durante os cálculos.

### 3.6 MEDIÇÕES

Posteriormente à instalação foram realizadas 10 medições de temperatura e 10 medições da velocidade do fluxo de ar no local para realizar a comparação entre os valores calculados e os reais a fim de validar o estudo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante a segunda e terceira visita foram coletadas 20 medições de temperatura e 20 do fluxo de ar em pontos distintos. Com base nestes valores foi possível determinar através de um cálculo médio simples qual era o valor geral das variáveis presentes no ambiente. Deste modo, a temperatura ambiente apresentou um valor médio de 8,3 °C enquanto o fluxo médio de ar ambiente apresentou valores de 5,94 km/h, para uma frequência aplicada aos motores evaporadores de 60 Hz. Com bases nestes valores foi possível determinar o nível de sensação térmica presente no local através das equações (1) e (2).

$$C = -04488 * S$$

$$C = -04488 * S \rightarrow C = -04488 * 5,94 \rightarrow C = -2,66$$

$$TC = T + \frac{C * (33 - T)}{73,3^{\circ}\text{C}}$$

$$TC = 8,3 + \frac{-2,66 * (33 - 8,3)}{73,3} \rightarrow TC = 7,3^{\circ}\text{C}$$

Como resposta ao valor nominal de frequência da rede de alimentação (60 Hz) em que os motores estavam operando, a sensação térmica geral do ambiente apresentou um valor médio de 7,3 °C para a temperatura e velocidade do fluxo de ar de 8,3 °C e 5,94 km/h.

Para atenuar os valores de sensação térmica no ambiente foi adotado um valor arbitrário para TC (Sensação térmica) de 7,6 °C, enquanto T (Temperatura ambiente) manteve-se a 8,3

°C. Sendo assim a determinação da frequência que foi aplicada ao inversor de frequência deu-se pelas equações (1) e (2) e através de um cálculo de interpolação linear.

$$TC = T + \frac{C * (33 - T)}{73,3^{\circ}C}$$

$$7,6 = 8,3 + \frac{C * (33 - 8,3)}{73,3} \rightarrow 7,6 = 8,3 + \frac{24,7 * C}{73,3} \rightarrow C = \frac{(7,6 - 8,3) * 73,33}{24,7}$$

$$C = -2,077$$

$$C = -04488 * S$$

$$-2,077 = -04488 * S \rightarrow S = \frac{-2,077}{-0,4488} \rightarrow S = 4,6278 \text{ km/h}$$

Como a velocidade do fluxo de ar proveniente das hélices fixas aos motores é proporcional a sua velocidade de rotação, quando variado a frequência da rede de alimentação além de se alterar a velocidade de rotação dos motores, a escala de velocidade do fluxo de ar também é alterada de forma proporcional. Deste modo foi possível dividir os valores de rotação dos motores e a velocidade do fluxo de ar por um valor base de 100 %. Portanto foi criada uma tabela com as relações de rotações por minuto e velocidade de fluxo de ar, sendo que 1 % representa o valor de 11,4 RPM e 0,0594 km/h, enquanto 100 % representam o valor de 1140 RPM e 5,94 km/h. Deste modo os valores que foram utilizados para os cálculos estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Relação entre RPM e velocidade do fluxo de ar**

Porcentagem (%)	RPM	Velocidade do ar (km/h)
4	45,6	0,2376
5	57	0,297
77	877,8	4,5738
78	889,2	4,6332
99	1128,6	5,8806
100	1140	5,9400

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

Como o valor da velocidade do fluxo de ar calculado não contempla a tabela proposta, foi realizado uma interpolação linear simples foi possível determinar o valor intermediário em RPM para a velocidade de fluxo de ar S= 4,6278 km/h.

**Tabela 2 – Relação entre RPM e velocidade do fluxo de ar utilizados**

RPM	km/h
877,8	4,5738
X	4,6278
889,2	4,6332

Fonte: Dados da pesquisa (2019)

$$X = \frac{B - A}{C - A} * E + \frac{C - B}{C - A} * D$$

$$X = \left( \frac{4,6278 - 4,5738}{4,6332 - 4,5738} \right) * 889,2 + \left( \frac{4,6332 - 4,6278}{4,6332 - 4,5738} \right) * 877,8$$

$$X = \left( \frac{0,054}{0,0594} \right) * 889,2 + \left( \frac{0,0054}{0,0594} \right) * 877,8$$

$$X = (0,909090) * 889,2 + (0,090909) * 877,8$$

$$X = 808,36 + 79,79$$

$$X = 888,15 \text{ RPM}$$

Para a determinação da frequência fez-se necessário a utilização da equação (5) utilizando-se o valor de referência X = 888,15 RPM encontrado na interpolação linear.

$$S = \frac{120 * F}{P}$$

$$F = \frac{S * P}{120} \rightarrow F = \frac{888,15 * 6}{120}$$

$$F = 44,4 \text{ Hz}$$

Com o valor de frequência determinado foi realizado a parametrização do inversor de 60 Hz para o valor de 44,4 Hz. Posteriormente à nova configuração, foi realizada uma medição no setor para obter-se os novos valores, tanto de temperatura quanto de velocidade do fluxo de ar. Através destes foram realizados novos cálculos através das equações (1) e (2) para verificar

o novo valor de sensação térmica no setor, e assim validar o estudo proposto. Os novos valores encontrados pós-alteração estão expressos na Tabela 3.

**Tabela 3 – Valores de correção de 60 Hz para 44,4 Hz**

Temperatura ambiente por ponto	°C	Velocidade do ar ambiente medida	km/h	Sensação térmica por ponto	°C
Temperatura 1	8,5	Velocidade do ar 1	5,0	Sensação térmica 1	9,42
Temperatura 2	8,4	Velocidade do ar 2	3,4	Sensação térmica 2	7,88
Temperatura 3	8,7	Velocidade do ar 3	6,5	Sensação térmica 3	7,72
Temperatura 4	8,0	Velocidade do ar 4	4,2	Sensação térmica 4	7,35
Temperatura 5	7,8	Velocidade do ar 5	3,4	Sensação térmica 5	7,27
Temperatura 6	8,2	Velocidade do ar 6	3,3	Sensação térmica 6	7,69
Temperatura 7	8,1	Velocidade do ar 7	3,5	Sensação térmica 7	7,56
Temperatura 8	8,2	Velocidade do ar 8	3,6	Sensação térmica 8	7,65
Temperatura 9	7,9	Velocidade do ar 9	4,5	Sensação térmica 9	7,20
Temperatura 10	8,2	Velocidade do ar 10	3,9	Sensação térmica 10	7,60
Temperatura média do ambiente	8,2	Velocidade média do ar ambiente	4,1	Sensação térmica média do ambiente	7,73

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

Através dos valores calculados foi possível validar o estudo proposto onde os métodos aplicados são válidos, comprovando que o controle de sensação térmica é possível de ser manipulado através da alteração de frequência calculada.

É fato notório que não há nenhuma norma regulamentadora (NR) que trate sobre os valores específicos para a sensação térmica em ambientes frigoríficos, tão pouco quais são os valores mínimos de temperatura ambiente para determinar se o mesmo é salubre ou não. Deste modo, um laudo de insalubridade, que é determinado por um perito especializado, deve ser elaborado.

Tomou-se como base para os níveis insalubres de sensação térmica, os valores de temperatura de acordo com as regiões brasileiras presentes no mapa “Brasil climas” de 1978 do IBGE que está citada na CLT Art.253, onde a mesma relata que um ambiente é considerado artificialmente frio para temperaturas inferiores a 10 °C na sexta e sétima zonas climáticas, sendo que estas por sua vez são aplicadas a região do estudo. Deste modo, todo ambiente que apresente temperaturas inferiores que a citada acima pode ser caracterizado como insalubre.

Assim, o ambiente avaliado nesse estudo apresenta características insalubres, de forma primária sem levar em consideração ao tempo de exposição, visto o fato de que a sensação térmica calculada apresentou o valor de 7,3 °C antes de sua correção. Para o estudo em específico, mesmo com a atenuação da sensação térmica realizada no local, o mesmo continua apresentando características insalubre devido à temperatura máxima de trabalho do setor operar

no limite da zona climática estipulada para a região em que é de 10 °C, sendo que nenhum valor de medição mostrou-se igual a este e sim inferiores. Porém, este é um caso específico na agroindústria, pois os demais setores trabalham com valores de temperatura de 11 a 16 °C dependendo do setor.

Em uma simulação com um valor típico de trabalho em um setor que apresenta valores médios de temperatura de aproximadamente 11 °C, com o pior caso dos valores de fluxo de ar coletados em uma das medições com a frequência da rede de alimentação aplicada aos motores em 60 Hz, o valor encontrado para a sensação térmica ambiente apresentou valores na casa dos 9,9 °C. Deste modo, a realização do cálculo para a determinação de frequência torna-se eficaz.

Deve-se ressaltar que todos os trabalhadores recebem da agroindústria vestimentas adequadas para trabalhar em suas áreas a fim e demais meios de mitigação que garantem sua integridade física, como está previsto na NR 36. Porém como existe a condição da sensação térmica influenciar no controle de temperatura corporal sendo que esta condição em específico não está presente na norma, o estudo vem ao encontro para contribuir com a mesma.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O objetivo deste estudo foi determinar a frequência ideal que deve ser aplicada aos inversores de frequência, de modo que ocorra a atenuação da sensação térmica ambiente em frigoríficos a padrões desejados para que o ambiente torne-se mais agradável aos que estão inseridos neste meio, sem que estas alterações interfiram no processo de produção. Sendo que o estudo tomou como base informações normativas para elaboração de fundamentação e resultados.

Após o término do estudo foi comprovado que a atenuação da sensação térmica em ambientes frigoríficos é possível através da determinação da frequência ideal aplicada aos motores que fazem o controle do fluxo de ar destes ambientes. Com o apresentado no estudo onde houve a atenuação da sensação térmica sem que a temperatura ambiente se alterasse consideravelmente, onde a diferença entre ambas era de 1°C sendo diminuída a 0,47 °C.

Como sugestões futuras, o estudo da atenuação da sensação térmica pode ser integrado em áreas de trabalho em que os níveis de temperatura apresentem valores superiores a 10 °C, para que se tenha uma escala melhor para a modulação da mesma adequando-a aos valores bases de temperatura apresentados anteriormente, deste modo o ambiente de trabalho aos quais

os trabalhadores estão expostos torna-se mais confortável, e atenderá um quesito não relatado especificamente nas normas vigentes.

## REFERÊNCIAS

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NR 15: **Atividades e operações insalubres**. Brasília, 2019a.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NR 36: **Segurança e saúde no trabalho em empresas de abate e processamento de carnes e derivados**. Brasília, 2019b.

BRASIL. **Serviço de Inspeção Federal-SIF**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-animal/sif>>. Acesso em: 04 ago. 2019

CASTRO, José de. **Refrigeração comercial - Climatização industrial**. 2. ed. São Paulo: Leopardo Editora, 2013.

COSTA, Ennio Cruz da. **Refrigeração**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1982.

CLT-CONSOLIDAÇÃO DAS LEIS DO TRABALHO. Brasília, 2017.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos elétricos**. 4. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2008.

FRANCHI, Claiton Moro. **Inversores de Frequência: Teoria e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2011.

GRANDJEAN, Etienne. **Manual de ergonomia adaptando o trabalho do homem**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed Editora S.a, 1998.

KROEMER, K. H.E., GRANDJEAN, E. **Manual de Ergonomia: adaptando o trabalho ao homem**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MARTINS, Denizar Cruz; BARBI, Ivo. **Eletrônica de Potência: Introdução ao estudo dos conversores CC-CA**. Florianópolis: Ed. dos Autores, 2005.

MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N.. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2011

MORAN, Michel J.; SHAPIRO, Howard N.; MUNSON, Bruce R.; DEWITT, David P.. **Introdução à Engenharia de Sistemas Térmicos: Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor**. Rio de Janeiro: Ltc, 2005.

PETRUZELLA, Frank D.. **Motores elétricos e acionamentos**. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda, 2013.

QUAYLE, Robert G.; STEADMAN, Robert G.. **The Steadman Wind Chill: An Improvement over Present Scales**. 1998. Disponível em: <<https://journals.ametsoc.org>>. Acesso em: 04 out. 2019.

RÊGO SEGUNDO Alan Kardek; RODRIGUES, Cristiano Lúcio Cardoso. **Eletrônica de Potência e Acionamentos**. 2015. Disponível em: <<https://www.ifmg.edu.br>>. Acesso em: 10 set. 2019.

RUAS, Álvaro César. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. 1999. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/>>. Acesso em: 25 ago. 2019.

SILVA, Marcelo Nascimento da. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M . Saiz. **Refrigeração industrial**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2002.

STOECKER, Wilbert F.; JABARDO, J. M . Saiz. **Refrigeração industrial**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2018.