

**ANDRÉ ANTÔNIO ANTON**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA AERAÇÃO DE ARMAZENADORES DE GRÃOS  
UTILIZANDO LÓGICA FUZZY**

**ALEGRETE  
2016**



**ANDRÉ ANTÔNIO ANTON**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA AERAÇÃO DE ARMAZENADORES DE GRÃOS  
UTILIZANDO LÓGICA FUZZY**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Automação Industrial, da Universidade Federal do Pampa (Unipampa, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA  
Curso de Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Giovani Guarienti Pozzebon

**ALEGRETE  
2016**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

A634e Anton, André Antônio  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA AERAÇÃO DE ARMAZENADORES DE  
GRÃOS UTILIZANDO LÓGICA FUZZY / André Antônio Anton.  
63 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA,  
2016.

"Orientação: Giovani Guarienti Pozzebon".

1. Sistemas de Aeração. 2. Lógica Fuzzy. 3.  
Eficiência Energética. 4. Armazenagem de Grãos. I.  
Título.

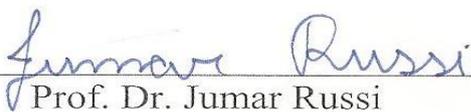
André Antônio Anton

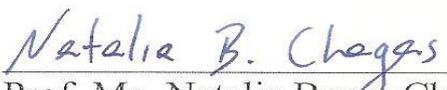
**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA AERAÇÃO DE ARMAZENADORES DE GRÃOS  
UTILIZANDO LÓGICA FUZZY**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Area de Automação Industrial, da Universidade Federal do Pampa (Unipampa, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho aprovado. Alegrete, RS, 2016:

  
Prof. Dr. Giovanni Pozzebon  
Orientador

  
Prof. Dr. Jumar Russi  
Unipampa

  
Prof. Me. Natalia Braun Chagas  
Unipampa

**ALEGRETE  
2016**



## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a Clenir Copatti, pela inspiração e muito apoio nas horas difíceis, e aos meus colegas e professores que me ajudaram e me deram forças para esse trabalho.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais.



## RESUMO

A necessidade de conhecimento sobre conservação de grãos fica evidenciada quando se analisa as potencialidades brasileiras de produção agrícola. Assim, também se verifica as elevadas perdas de grande parte do que é produzido. Uma das formas de se minimizar os custos na produção e conservação dos grãos é através da eficientização do processo de armazenamento dos grãos, ou seja, na diminuição do custo energético nos sistemas de aeração, que são fundamentais para o processo de conservação da produção. Assim, o presente trabalho desenvolve uma técnica, utilizando lógica fuzzy, que permite ajustar, de forma automática, a velocidade de sistemas de aeração/ventilação e conseqüentemente a vazão de ar em silos armazenadores de grãos, visando obter um sistema com maior eficácia e eficiência energética, diminuindo-se o consumo da energia elétrica consumida pelos motores dos ventiladores. Dessa forma, é possível diminuir os custos e evitar as perdas e/ou desperdícios na cadeia produtiva.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética; Sistemas de Aeração; Armazenagem de Grãos; Termometria; Lógica Fuzzy.



## ABSTRACT

The need to have knowledge about grain conservation is evident when analyzing the potential of Brazilian agricultural production. Thus, there is also the high loss of much of what is produced in the fields. One of the ways to minimize costs in the production and conservation of grains is through the efficiency of the grain storage process, ie, the reduction of energy cost in aeration systems, which are essential for the conservation of production. Thus, this study developed a technique using fuzzy logic, which allows to adjust, automatically, the aeration rate/ventilating systems and hence the air flow storers grain silo, to obtain a system with greater efficiency and energy efficiency, reduce energy consumption consumed by the fan motors. Thus, it is possible to reduce costs and avoid losses and / or waste in the production chain.

**Key words:** Energy Efficiency; Aeration Systems; Grain Storage; Thermometry Systems; Fuzzy Logic Systems.



## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>                       | <b>17</b> |
| <b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>            | <b>21</b> |
| 2.1 <i>Umidade dos grãos.....</i>               | 22        |
| 2.2 <i>Silos.....</i>                           | 24        |
| 2.3 <i>Tempo de Resfriamento dos Grãos.....</i> | 25        |
| 2.4 <i>Termometria e Aeração.....</i>           | 26        |
| <b>3. METODOLOGIA.....</b>                      | <b>31</b> |
| <b>4. RESULTADOS.....</b>                       | <b>49</b> |
| <b>5. CONCLUSÃO.....</b>                        | <b>55</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>          | <b>57</b> |
| <b>ANEXO.....</b>                               | <b>59</b> |



## 1. INTRODUÇÃO

Os modernos sistemas mercadológicos fazem com que as empresas busquem o incremento da produtividade, reduzam seus custos e aumentem a eficiência, para que os processos produtivos se tornem competitivos quanto à qualidade dos produtos e ao preço final de mercado. Este preço precisa cobrir todos os custos de produção, além de garantir remuneração, com margem de lucro, a todos os participantes da cadeia produtiva, desde a exploração de onde saem matérias-primas, até a comercialização dos produtos finais, industrializados, em nível de consumidor [1].

A necessidade de conhecimentos sobre conservação de grãos fica evidenciada quando são analisadas as potencialidades brasileiras de produção agrícola e são verificadas as enormes perdas de grande parte do que é produzido [1]. Em se tratando da qualidade de grãos, a sua conservação está diretamente ligada ao armazenamento, que é um dos principais pontos de desperdício, apresentando perdas quanti-qualitativas, devido, principalmente, às deficiências em infraestrutura e aos sistemas de tratamento e conservação inadequados. Dessa forma, nota-se que o setor agropecuário brasileiro tem a necessidade de buscar, através da melhoria dos processos na cadeia produtiva de grãos, a excelência na qualidade dos produtos, minimizando custos e evitando o desperdício.

Uma das formas de se minimizar os custos é através da efficientização do processo de armazenamento dos grãos, através da diminuição do custo energético nos sistemas de aeração, que são fundamentais para o processo de conservação da produção. O armazenamento em silos ou em armazéns equipados com eficientes sistemas de termometria, aeração e/ou outros recursos para manutenção de qualidade dos grãos, são as formas mais empregadas por cooperativas, agroindústrias e grandes produtores. A aeração de grãos armazenados consiste basicamente em promover a passagem de baixa vazão de ar natural ou resfriado por meio de ventiladores através da massa granular com o objetivo de baixar e uniformizar a temperatura dos grãos armazenados, prevenir a migração de umidade e, dependendo das condições climáticas e da vazão de ar, promover a secagem ou reumedecimento dos grãos [1].

Assim, o presente estudo tem por objetivo desenvolver uma técnica, utilizando lógica fuzzy, que permita ajustar, de forma automática, a velocidade de sistemas de aeração/ventilação e conseqüentemente a vazão de ar em silos armazenadores de grãos, visando obter um sistema com maior eficácia e eficiência energética, diminuindo custos e evitando perdas e/ou desperdícios na cadeia produtiva.

Para se fazer uma aeração, primeiramente, deve-se definir qual é a finalidade, como por exemplo: armazenar uma certa massa de grãos e manter sua umidade relativa em 13% e a temperatura em 20°C. Basicamente, a aeração depende da temperatura e umidade do grão e da temperatura e umidade relativa do ar externo. Para o controle da temperatura na massa de grãos, empregam-se as instalações de termometria, as quais são constituídas por uma rede de sensores de temperatura, dispostos de forma regular nas células de estocagem dos silos. O mesmo ocorre no controle da umidade. Aparelhos chamados umidistatos, que operam, também, através de sensores, são instalados nas células. Ambos os sensores são ligados a um quadro de controle, que indica a temperatura e a umidade em vários níveis da massa de grãos. Esses aparelhos permitem do operador escolher o momento oportuno para se fazer uma aeração e quanto deve ser sua duração. Assim, ele pode ligar ou desligar os ventiladores conforme as necessidades[4].

Com ajuda de cálculos matemáticos, é possível determinar o tempo de aeração necessário para que uma determinada massa de grãos, a partir das condições iniciais, atinja as condições finais desejadas de armazenamento. Desta forma, o operador do silo poderá programar o sistema de aeração com maior precisão e conforme as necessidades exigidas.

É possível reduzir o consumo de energia elétrica por período de aeração. Quando se observam as leis que regem o funcionamento do conjunto motor-ventilador do sistema de aeração do silo, pode-se notar o grande potencial de economia de energia elétrica, quando o motor de indução é alimentado por um conversor de frequência permitindo que o sistema opere com velocidade variável. Desta forma, ao reduzir a frequência ocorrerá uma redução da velocidade do motor, o que acarretará uma grande redução da potência absorvida e, portanto, o consumo de energia elétrica. Com a redução da velocidade ocorre uma redução da vazão fornecida pelo ventilador, portanto, seria necessário aumentar o tempo de aeração para atingir as condições exigidas de armazenamento. Contudo, monitorando-se as condições de umidade e temperatura da massa de grãos, pode-se aumentar o tempo de aeração sem que haja prejuízo do armazenamento da massa de grãos.

Como objetivo em geral esse trabalho apresenta uma técnica de ajuste para a velocidade de um conjunto motor-ventilador por meio da lógica Fuzzy. Permitindo ajustar, de forma automática, a velocidade dos sistemas de aeração/ventilação. Visando uma eficiência na conservação dos grãos e diminuição do consumo da energia elétrica em sistemas de armazenamento, visto que a potência consumida e a velocidade do motor-ventilador, não são lineares.

Este trabalho tem como objetivo abordar um estudo dos principais fatores que envolvem o armazenamento e a manutenção da qualidade dos grãos, bem como o obter o conhecimento de produtos a serem conservados e as condições ambientais em que os mesmos devem ser mantidos.

Estabelecer um embasamento teórico para desenvolver um sistema baseado em lógica fuzzy que tenha como saída, a velocidade de referência dos ventiladores, a partir das entradas medidas, tais como temperatura e umidade relativa do ar, temperatura da massa de grãos, e das entradas inseridas pelo operador/gerenciador – variedade e o volume de grãos contidos no silo armazenador.

Realizar um estudo comparativo (teórico e/ou prático) do sistema proposto com sistemas convencionais a fim de se comprovar a eficiência em consumo de energia elétrica quando da utilização da técnica, bem como estimar os custos de implementação envolvidos.



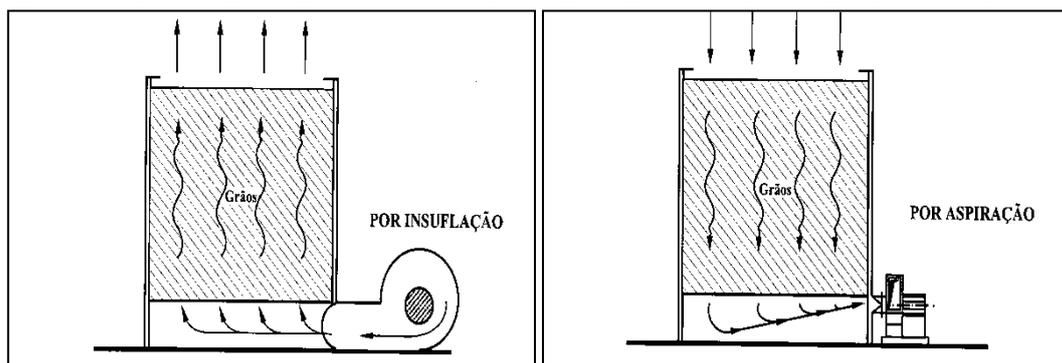
## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A aeração de grãos, em um silo armazenador, consiste em promover a passagem de ar natural ou resfriado por meio de ventiladores através da massa granular com o objetivo de baixar e uniformizar a temperatura dos grãos armazenados, prevenir a migração de umidade e, dependendo das condições climáticas, promover a secagem ou reumedecimento dos grãos [1]. Após a maturação fisiológica dos grãos, inicia-se um processo de deterioração, que é irreversível. Assim, evidencia-se a necessidade de reduzir a um mínimo a velocidade desse processo de deterioração, através do estudo e da observação de diferentes fatores, durante a fase de armazenagem [3].

O conhecimento e a prática da aeração são indispensáveis na boa conservação de grãos armazenados, porém há necessidade de se tomar alguns cuidados para evitar a deterioração de grãos armazenados e o desperdício de energia elétrica. Além disso, a possibilidade de reduzir as variações estacionais de preço, durante e após a safra, bem como a constituição de uma comercialização segura no mercado em períodos críticos, justificam as preocupações dos armazenadores em ampliar a segurança do produto estocado. Por isso, pretende-se desenvolver, neste trabalho, um sistema de controle que possa aperfeiçoar o consumo de energia elétrica durante o processo de aeração, aumentando a eficiência energética dos equipamentos envolvidos neste processo, tentando, na medida do possível, minimizar as perdas quanti-qualitativas dos grãos e os custos envolvidos.

Para executar a tarefa de gerenciamento do sistema de aeração, pretende-se criar um método de tomada de decisão, através da lógica fuzzy, que faça com que energia gasta para executar determinado tipo de aeração, seja a mínima possível, de acordo com os objetivos a serem alcançados, como por exemplo, temperatura e umidade dos grãos, variáveis climáticas como temperatura e umidade relativa do ar, a variedade e quantidade de produto armazenado, e também das condições atuais em que se encontra o produto armazenado. Estes são alguns dos fatores que influenciam em projetos e na hora de se tomar a decisão de ligar ou não o sistema de aeração. Neste caso, além da decisão de ligar ou desligar, se fará o controle da velocidade do (s) motor (es), conseqüentemente se fará a regulação da vazão de ar insuflado ou aspirado do silo armazenador (Figura 1). Pois, sabe-se da literatura [4] que a vazão total ou específica (dependente do volume de grãos) necessária está diretamente relacionada ao tipo e a quantidade de produto armazenado, bem como à umidade em que se encontram esses grãos armazenados. Exemplos de vazões específicas encontram-se no Quadro 1.

Figura 1 - Representação esquemática da aeração de grãos por insuflação e aspiração ou sucção do ar.



Fonte: Adaptado de Peres (2000).

Quadro 1 – Exemplos de vazões de ar de aeração.

| Exemplos de vazões específicas de ar de aeração |               |                                       |
|---|---------------|---------------------------------------|
| Produto   | Umidade, % bu | Vazão de ar em m <sup>3</sup> min ton |
| Milho e Sorgo                                   | < 15%         | 0,10 a 0,25                           |
|   | 15 a 18 %     | 0,25 a 0,50                           |
|   | >18%          | 0,50 a 1,00                           |
| Trigo, Aveia, Cevada e Centeio                  | <14%          | 0,05 a 0,10                           |
|   | 14 a 16%      | 0,10 a 0,25                           |
|   | >16%          | 0,25 a 0,75                           |
| Soja  | <13%          | 0,10 a 0,25                           |
|   | 13 a 15%      | 0,25 a 0,50                           |
|   | >15%          | 0,50 a 1,00                           |

Fonte: Randy Sheley-GSI Group

Fonte: Hara, Tetuo (2003). Aeração com qualidade, Revista Cultivar Máquinas.

## 2.1 Umidade dos grãos

Tudo começa com uma secagem de forma adequada e correta, assim, quanto maior for a integridade dos grãos, menor será a atividade metabólica, respirará menos, e menor será o aquecimento, pois será mínima a liberação de calor. Assim, tem o aspecto da naturalidade da umidade de grãos, onde o produtor não colhe antes da maturação, pois até chegar a esse ponto o grão ganha massa e continua crescendo, fazendo com que o ganho financeiro do produtor seja maior. Os grãos deverão ser colhidos quanto tiverem uma umidade abaixo de 30%, porém superior

a 13% ou 14%, pois estas são umidades típicas e adequadas para a comercialização e armazenamento.

Fazendo-se um armazenamento fechado e com sistemas apropriados, sem deixar os grãos ao tempo, evita-se obter fungos e insetos, evitando as perdas. Por isso, a melhor maneira de armazenar os produtos seria passando por uma secagem mecânica que lhe deixa em perfeito estado de conservação, e o silo armazenador deve manter os produtos nas melhores condições possíveis sem comprometer a sua qualidade.

Os grãos têm uma natureza poderosa que permite uma troca de umidade com o ar atmosférico, tanto podem ganhar ou perder umidade para o ar. Esse processo é mais conhecido como higroscopia e a psicrometria, na qual estudam condições nas trocas hídricas entre os grãos e o ar, um elemento fundamental na armazenagem de grãos.

Com uma umidade inicial e umidade final, é possível fazer um cálculo de peso da água removida em percentual do peso total, conforme a equação 1:

$$PA(\%) = \frac{UI(bu) - UF(bu)}{100 - UF} * 100 \quad (1)$$

- $PA$  (%) = Peso da água removida em percentual do peso total;
- $UI$  = Umidade inicial em (%) na base úmida;
- $UF$  = Umidade final em (%) na base úmida;
- $bu$  = informa que a umidade é obtida na base úmida;

Também podemos calcular a quantidade de grãos secos diretamente em peso sem a necessidade de calcular o percentual de água perdida, conforme a equação 2:

$$PG(kg) = PI * \frac{100 - UI}{100 - UF} \quad (2)$$

- $PG$  = Peso final da massa após a secagem em kg;
- $PI$  = Peso inicial da massa de grãos recebida em kg;
- $UI$  = Umidade inicial em (%) na base úmida;
- $UF$  = Umidade final em (%) na base úmida;

Com essas equações podemos achar as curvas higroscópica do grão de milho para diversas temperaturas e umidades, conforme na Figura 2, e para nosso caso específico a curva apresentada na Figura 3, que por sua vez temos uma temperatura de 28°C e uma umidade relativa de 60%.

Figura 2 - Curvas Higroscópica do grão de milho para diversas temperaturas.

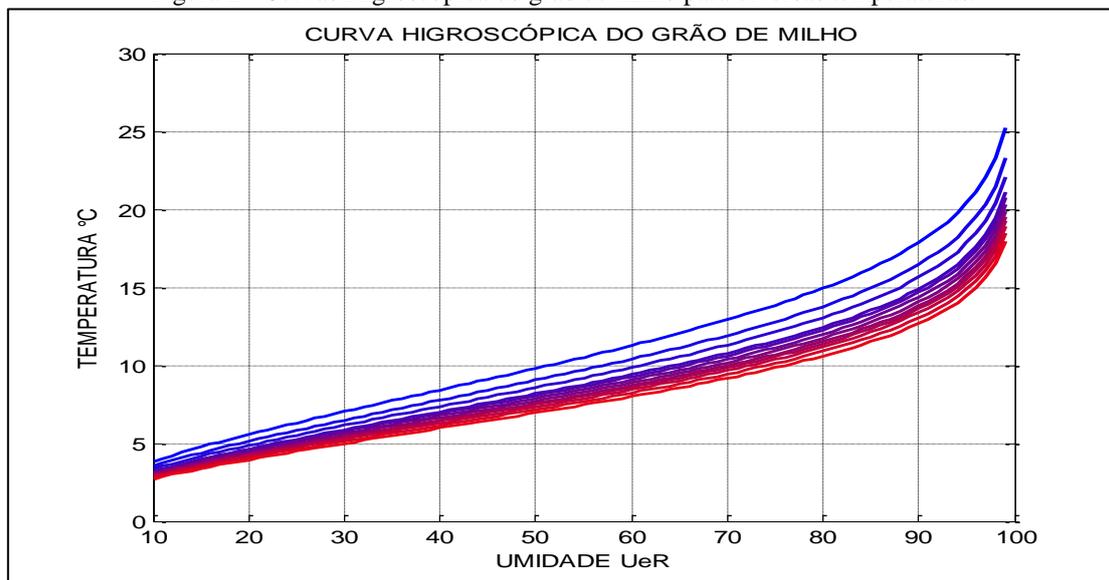
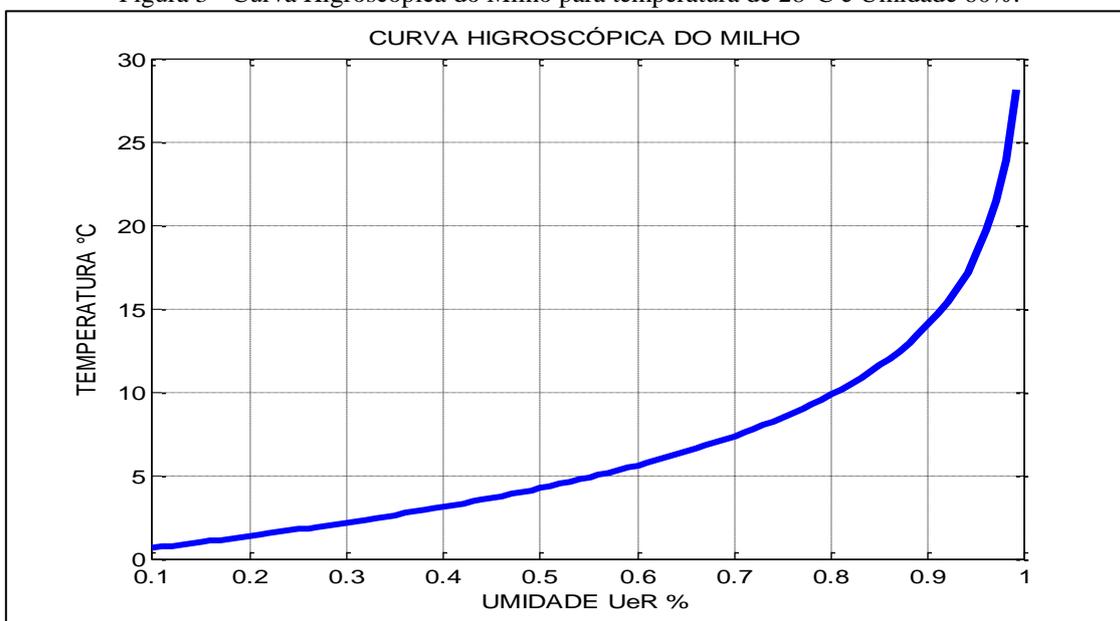


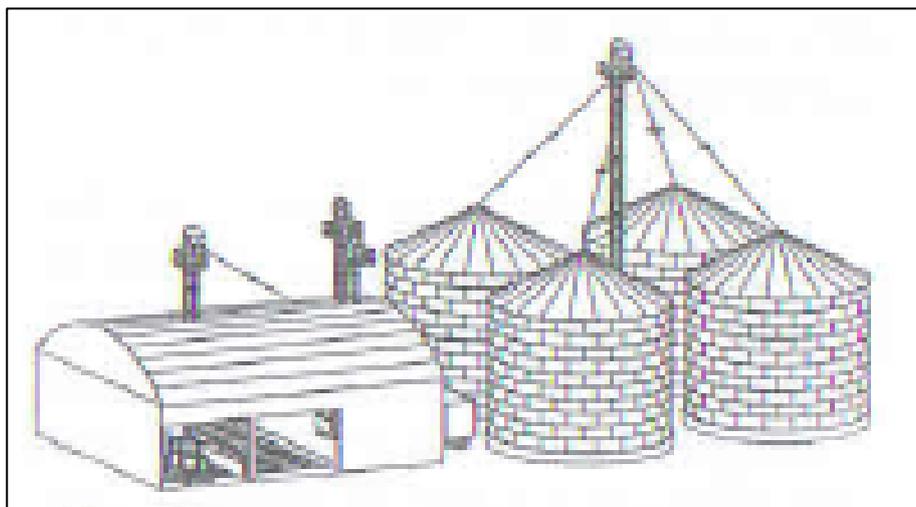
Figura 3 - Curva Higroscópica do Milho para temperatura de 28°C e Umidade 60%.



## 2.2 Silos

Existem diversos tipos de silos, sejam eles verticais ou horizontais. Neste trabalho será abordados os silos verticais, com aeração.

Figura 4 - Vista de um silo metálico.



Fonte: Weber, Érico Aquino. Excelência em Beneficiamento e Armazenagem de Grãos

A Figura 4 apresenta um exemplo de uma unidade com quatro silos metálicos com uma velocidade alta de recebimento.

Esses silos têm muitas vantagens, como por exemplo:

- Evita os elevados custos de transporte na época de safra com demoradas esperas nas filas de descarregamento;
- Evita o transporte de umidade e impurezas, entregando os produtos limpos e secos;
- Permite a limpeza, secagem e armazenagem;
- Possuindo balança própria, conhece o peso total do produto colhido;
- Permite uma política adequada para venda do produto colhido;
- Ficam com o produtor os resíduos orgânicos e quirera;
- O custo da obra fica menor por tonelada;

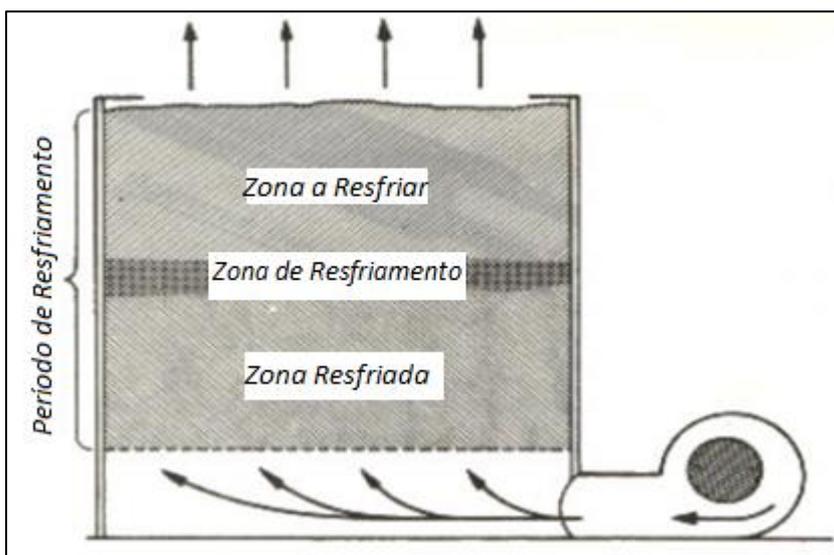
Quanto à aeração, ela é realizada através de piso do silo, totalmente com chapa perfurada, o ar entra por baixo no espaço que é chamado de plenum e avança para cima saindo através do espaço existente entre a cobertura e a parede cilíndrica do silo [4].

### 2.3 Tempo de Resfriamento dos Grãos

Para se conseguir uma zona de resfriamento, o ar frio é forçado através da massa dos grãos, inicialmente na camada de grãos próximos ao motor, que lhe fornece uma tomada de ar, assim conforme vai insuflando vento no silo, o ar vai passando por dentro da camada de grãos

sucessivamente até chegar ao seu equilíbrio. É extremamente importante movimentar a zona de resfriamento através de toda a massa de grãos ensilada, pois os desníveis de temperatura podem se tornar muito prejudiciais, podendo perder qualidade ou criando fungos. O objetivo da aeração é igualar-se à temperatura na massa dos grãos fazendo com que se evite a migração de umidade. A Figura 5 apresenta-se um esquema de um silo vertical com a progressão da zona de resfriamento.

Figura 5 - Propagação da Zona de Resfriamento



Fonte: AC Almeida e Cia, Manual de Conservação de Grãos

Logo, pode-se observar que há um aquecimento nas últimas camadas, o que faz com que o aumento da temperatura seja rápido. Este fenômeno é muito perigoso, podendo promover uma existência de fungos, ocasionando perdas na qualidade do produto, assim o resfriamento deve ocorrer nessas camadas antes de que ela seja aquecida. Assim, o tempo que necessita para resfriar completamente a massa do grão, é inversamente proporcional à velocidade de propagação da zona de resfriamento, e diretamente proporcional à altura da massa de grãos, com isso, se torna fundamental para se ter uma boa aeração [4].

## 2.4 Termometria e Aeração

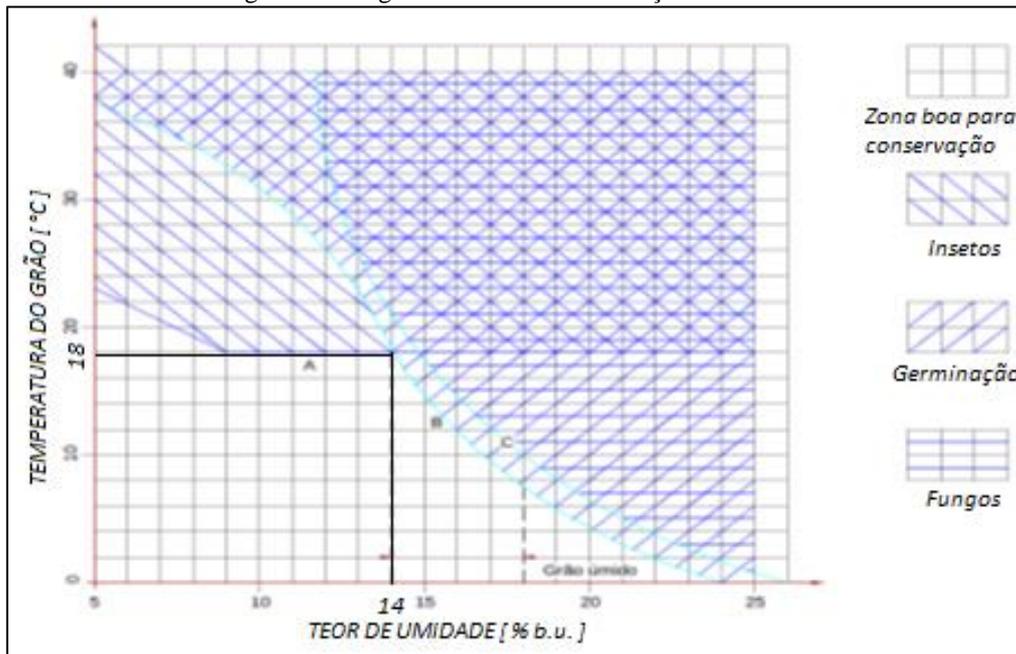
O Sucesso e a precisão de qualquer sistema de controle estão não só em se realizar um projeto bem elaborado e criterioso, mas também depende bastante da precisão e da confiabilidade dos dados (variáveis) que são coletadas (medidas) para a execução de tal procedimento. Em sistemas de armazenamento, variáveis como temperatura e umidade relativa do ar podem ser

advindas de estações meteorológicas instaladas em locais adequados ou até mesmo de sensores que forneçam dados confiáveis. Já para os grãos armazenados, utiliza-se um sistema de termometria, que consta de um conjunto de sensores distribuídos simetricamente no interior de um silo ou graneleiro e conectados a um painel dotado de instrumento de medição. A termometria consiste na medição periódica da temperatura do cereal, em diversos pontos do graneleiro ou silo, para saber da necessidade ou não de que seja acionado o sistema de aeração.

Além dos dados climáticos e dos dados do sistema de termometria, dados que poderão ser inseridos manualmente pelo operador/gerenciador ou através de um sistema supervisorio, tais como tipo de grão armazenado, quantidade (volume) de produto armazenado, tipo de aeração desejada (de manutenção, de resfriamento ou de secagem), umidade desejada, também serão considerados pelo sistema de controle de ventilação/aeração. O sistema de controle também deve contar com uma base de dados pré-inserida baseada nos rigores de conservação de cereais, obedecendo a regras e normas de conservação para cada tipo de grão considerado. Um exemplo que deve ser levado em consideração é o Diagrama de Conservação de Cereais, Figura 6. Este diagrama indica a natureza dos riscos, em função da umidade do grão e da temperatura em que é armazenado. De acordo com o diagrama, por exemplo, acima de 18°C (temperatura atingida pela massa de grãos), sempre há riscos de má conservação. O grão com alto teor de umidade corre o risco de ser afetado pelo desenvolvimento de fungos e de perder seu poder germinativo; o grão relativamente seco (teor de água inferior a 14%) está sujeito ao ataque de insetos. Na prática, quando o grão se apresenta com aproximadamente 14% de teor de água, é interessante manter a temperatura em torno de 18°C ou abaixo.

Dessa forma, baseado na leitura de variáveis, nas informações do operador e na base de dados, o sistema de controle fuzzy decidirá o momento de ligar/desligar a aeração e principalmente regulará a velocidade do motor evitando o desperdício de energia e mantendo os grãos em situações adequadas de conservação, evitando perdas quanti-qualitativas.

Figura 6 – Diagrama Geral de Conservação de Cereias.



O sistema de termometria com auxílio de sensores consegue observar o seu estado de conservação de grãos, com uma finalidade de indicar as variações de temperatura da massa dos grãos. Esse sistema possui uma precisão de 1°C na faixa que deve operar, de condições ambientais de 5°C a 45°C de temperatura e com uma umidade relativa do ar de 5% a 80%, logo o aparelho tem que ter uma escala mínima de 0°C a 90°C.

O quadro 2, apresenta recomendações contidas para as condições apresentadas na armazenagem e conservação de grãos. Esse quadro possui três classes, no qual deve ser feita a seleção, considerando a situação mais desfavorável entre o teor de umidade e o teor de impurezas dos grãos em porcentagem de peso. Esses valores são coletados na entrada do silo [4].

Quadro 2 – Distribuição de cabos e sensores segundo a classe.

| Umidade e Impureza   | Classe  |           |           |
|--|---------|-----------|-----------|
|  | I       | II        | III       |
| Umidade dos grãos na entrada do silo (bu)                          | Até 10% | 10% - 13% | 13% - 16% |
| Teor de impurezas dos grãos na entrada do silo                     | Até 2%  | 2% - 4%   | 4% - 6%   |
| Distância entre cabos, sensores, parede e grãos                    |         |           |           |
| Distância máxima entre os cabos termométricos                      | 8 m     | 6 m       | 5 m       |
| Distância máxima entre sensores nos cabos termométricos            | 4 m     | 3 m       | 2 m       |
| Distância máxima entre cabo termométricos e a parede do silo       | 4 m     | 3 m       | 2,5 m     |
| Distância máxima entre um grão e o cabo termométricos mais próximo | 5,7 m   | 4,3 m     | 3,6 m     |

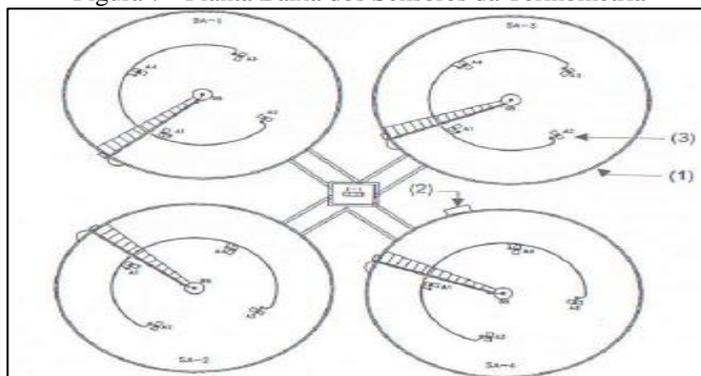
Fonte: Weber, Érico Aquino. Excelência em Beneficiamento e Armazenagem de Grãos

Com esses dados, a termometria será feita com a classe III, pois sempre deve-se considerar o caso mais desfavorável, então a construção no silo será da classe III. Cada tipo de armazém possui suas características, para este projeto o sensor 1 deve estar a uma altura superior a um metro do fundo do silo.

O cabo da termometria deve ser um cabo mais robusto que agente uma força mínima de 45 kgf/m, sendo imerso na massa dos grãos, com o silo cheio acaba evitando o rompimento do cabo especialmente solicitado no ato da descarga, para retirada da semente no armazém, os cabos devem possuir proteção adicionais, pois a capa tem que ser resistente a massa do grão, e com um acompanhamento de um ou mais cabos de aço. O mais correto é ter dutos que separam comando e força, assim a medição é mais precisa [4].

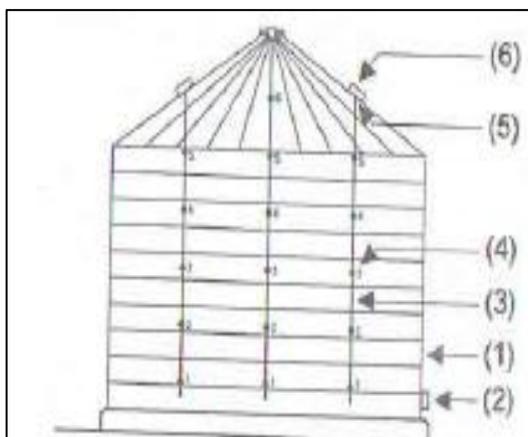
A Figura 7 ilustra o sentido na qual ficarão dentro do tubo os sensores, e a Figura 8, mostra a posição dos cabos e dos sensores nos silos metálicos em corte, com eles a suas numerações, para manter a sequência padrão e de fácil manutenção e instalação [4].

Figura 7 - Planta Baixa dos Sensores da Termometria



Fonte: Weber, Érico Aquino. Excelência em Beneficiamento e Armazenagem de Grãos

Figura 8 - Vista Sensores Termometria.



Fonte: Weber, Érico Aquino. Excelência em Beneficiamento e Armazenagem de Grãos.

O tubo terá quatro sensores de nível, que indicarão em qual nível (volume) no tubo está o grão, e terá diversos sensores de temperatura e umidade dentro e fora do tubo fazendo assim o controle da velocidade do motor da aeração mantendo a eficiência energética sem perda nos grãos. Os sensores termopares variam a tensão, assim tem-se uma melhor precisão e controle, os sensores devem ser todos numerados em ordem crescente, sendo assim o primeiro sensor mais próximo do fundo do silo, no silo que está sendo feito esse projeto, além de ser em ordem crescente segue no sentido anti-horário, pois mantendo essa estrutura, acaba se tornando padrão, e de fácil manutenção caso necessário.

### 3. METODOLOGIA

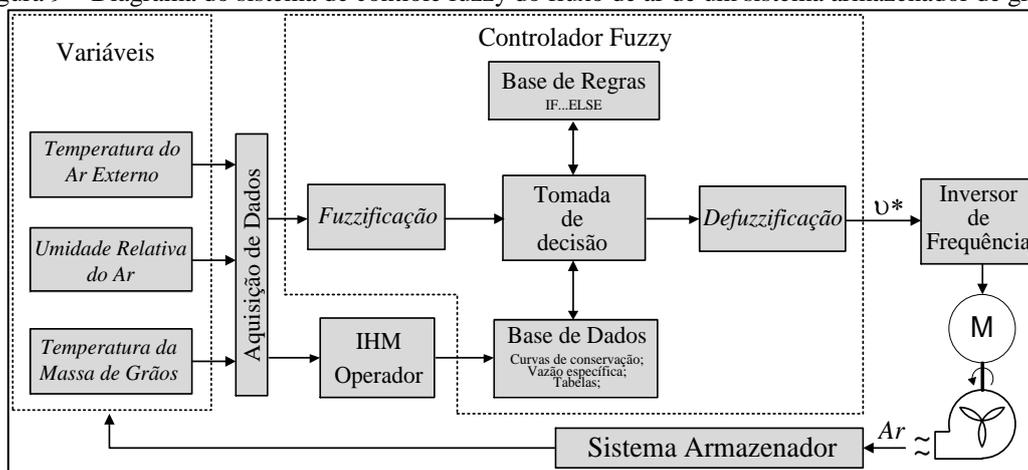
A teoria de sistemas Fuzzy foi proposta por Lofti A. Zadeh [5], [6] como uma forma de processar informação vaga, imprecisa ou linguística e, desde então, vem apresentando diversas aplicações. Ela estabelece a base para representar o conhecimento e desenvolver os mecanismos essenciais para inferir decisões sobre as ações apropriadas que devem ser tomadas em um problema real [7]. Essencialmente, o que um sistema Fuzzy realiza é transformar a base de conhecimento humano em uma formulação matemática. Este trabalho utilizará os sistemas Fuzzy baseados em regras, isto é, sistemas cujas relações entre variáveis são representadas por meio de base de regras Fuzzy SE-ENTÃO, da forma:

SE <Antecedente> ENTÃO <Consequente>.

A Teoria de Conjuntos Fuzzy pode ser utilizada em problemas de tomada de decisão, como é o caso do problema abordado. Ela representa uma alternativa à abordagem de problemas de tomada de decisão, que podem ser considerados como problemas de otimização. Sendo assim, deseja-se determinar uma solução que "satisfaça" tanto os objetivos quanto as restrições do problema.

A Figura 9 apresenta um diagrama de controle fuzzy em que esquematiza a proposta para o controle da velocidade dos motores e consequentemente a vazão de ar dos sistemas armazenadores. O objetivo do controlador é estabelecer uma velocidade (saída do controlador) para o motor conectado ao ventilador para que o sistema funcione de forma eficiente, sem desperdício de energia elétrica. Esta velocidade servirá de referência a um inversor de frequência que faz o acionamento do motor. Para a realização do controle poderão ser utilizados microcontroladores ou processadores digitais de sinais.

Figura 9 – Diagrama do sistema de controle fuzzy do fluxo de ar de um sistema armazenador de grãos.



Com o desenvolvimento desses elementos de teoria, os estudos desenvolvidos permitem vislumbrar a possibilidade de se avançar teoricamente, pois, com os conjuntos fuzzy, cresce a possibilidade de interpretação de fenômenos não quantitativos e vagos, sendo, porém, necessário buscar mecanismos para inferência a partir desses dados. Como os sistemas lógicos são intimamente relacionados com conjuntos, o passo seguinte foi dado em direção à construção de uma lógica capaz de adequar os conjuntos fuzzy ao raciocínio do senso comum. Tal sistema denomina-se “Lógica Fuzzy”.

Na tentativa de construir a Lógica Fuzzy, significativos resultados foram aparecendo e despertando o interesse de outros campos de estudo, principalmente aqueles que desenvolvem tecnologia elétrica, eletrônica e computacional. Esses conceitos fuzzy têm contribuído, acentuadamente, para o desenvolvimento de áreas como a lingüística, teoria de controle, teoria de informação, modelos de reconhecimento, análise de decisão, recuperação de informação, psicologia e teoria de autômatos ou robótica, onde tem surgido um grande número de máquinas capazes de tomada de decisões, as quais são chamadas de máquinas inteligentes.

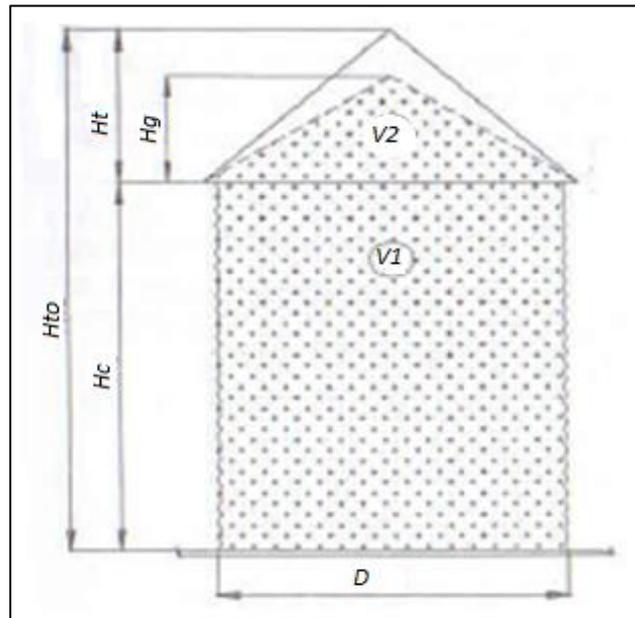
Os diversos tipos de silos, tanto verticais ou horizontais, têm um fundo falso para a passagem de ar dos sistemas de aeração. Com isso cada um deles tem sua finalidade e suas características diferentes. Ao fazer um projeto de um silo desses para uma melhor eficiência tem que levar em consideração o tipo de grão que será armazenado, dimensões como altura do silo e altura da massa de grãos, a vazão específica recomendada, a perda de carga, e o ventilador a ser utilizado [4].

Cada tipo de grãos tem sua umidade para ser armazenado, seu peso específico que permita a passagem de ar para ser aerado ao ponto necessário, o modo de respiração, as condições externas do ar para evitar perdas, podendo definir a vazão específica a ser utilizada. A vazão é expressa em  $m^3$  de ar, por hora e por  $m^3$  de grão, isso se torna uma parte mais importante no processo de aeração.

Esses dados são tabelados e recomendados conforme o grão a ser armazenado, assim as vazões específicas recomendadas à aeração de manutenção devem ser baixas, evitando a secagem e não umedecendo o produto [4].

Foi projetado para um caso específico, com grãos de milho, um silo vertical como apresenta na Figura 10.

Figura 10 - Silo Metalico Cilindrico.



Fonte: Excelência em Beneficiamento e Armazenagem de Grãos.

Onde se tem os dados:

- Diâmetro  $D = 20$  metros;
- Altura do cilindro  $Hc = 21,37$  metros;
- Altura do teto  $Ht = 5,77$  metros;
- Altura total  $Hto = 27,14$  metros;

Com estes dados podemos calcular o volume em  $V1$  e depois em  $V2$ , e assim obter o volume total  $V1+V2$ . Para calcularmos a capacidade do silo temos que calcular a superfície da base, na qual será utilizado para verificar a velocidade que atravessa a massa dos grãos [4].

$$SB = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (3)$$

Onde:

- $SB$  = Superfície da Base (  $m^2$  );
- $D$  = Diâmetro (  $m$  );

Com a equação (3), determina-se a superfície da base ou piso do silo interno, calcula-se o valor de  $314 m^2$ , e então é possível determinar o volume na parte de  $V1$ , utilizando a equação (4).

$$V1 = SB * Hc \quad (4)$$

Onde:

- $V1$  = Volume área um ( $m^3$ );
- $SB$  = Superfície da Base ( $m^2$ );
- $Hc$  = Altura do Cilindro (m);

Determinado o primeiro volume ( $V1$ ) do cilindro, de  $6.710,18 m^3$ , deve-se calcular o volume 2 ( $V2$ ). Mas para isso, primeiro tem-se que calcular o  $Hg$ , que é a altura da massa de grãos em caso de silo cheio. Para isso, tem-se que conhecer o  $\alpha$  (alfa) que é o ângulo de  $27^\circ$  a  $29^\circ$  dependendo do tipo de grão, sendo que esta informação encontra-se tabelada em [4]. Neste caso foi utilizado o Milho, então o  $\alpha$  é de  $27^\circ$ , portanto, calcula-se o  $Hg$  através da equação (5):

$$Hg = tg(\alpha) * \frac{D}{2} \quad (5)$$

Onde:

- $Hg$  = Altura da massa dos grãos (m);
- $\alpha$  = Ângulo de caída da massa de grãos ( $^\circ$ );
- $D$  = Diâmetro (m);

Sabendo-se que a altura do cone da massa de grãos de milho é de 5,1 metros, vamos calcular o volume 2, a capacidade na parte superior do silo, conforme equação 6.

$$V2 = \frac{SB*HG}{3} \quad (6)$$

Onde:

- $V2$  = Volume da área dois ( $m^3$ );
- $SB$  = Superfície da Base ( $m^2$ );
- $Hg$  = Altura da massa de grãos ( m );

Determinado o volume na parte superior, de  $533,8 m^3$  para o grão de milho, pode-se encontrar o volume total do silo com a soma dos dois volumes conforme a equação (7) [4]:

$$VT = V1 + V2 \quad (7)$$

Onde:

- $VT =$  Volume Total ( $m^3$ );
- $VI =$  Volume na área um ( $m^3$ );
- $V2 =$  Volume na área dois ( $m^3$ );

Assim, foi determinado o volume total de grãos de milho armazenado no silo de  $7.243,98m^3$ . Depois de obtido o volume total, foi calcula-se a vazão específica, onde cada produto possui um valor de “q”, que seriam as condições dos produtos e a vazão específica recomendada através do Quadro 3 [4].

Quadro 3 – Seleção de “ q ” em  $m^3/min.m^3$  e tipo de fundo do silo mais indicado.

| Opção   | Condições dos Produtos e a Vazão Específica “q” Recomendada  | Valor de “ q ” | Tipo de Fundo |
|---|--|----------------|---------------|
| A   | Secos e frios, vindo da lavoura ou saindo do secador   | 0,100          | Canais        |
| B   | Secos e quentes, grãos saindo do secador, utilizando na parte inferior so silo produto seco e frio até dois anéis.                         | 0,110          | Canais        |
| C   | Úmidos e frios, vindo da lavoura com baixa umidade até 15%, porém utilizando na parte inferior do silo produto seco e frio até dois anéis. | 0,125          | Canais        |
| <b>Silo com fundo falso não precisa de “lastro” prévio de grãos secos e frios até dois anéis.</b> |  |                |               |
| D   | Úmidos e frios vindo da lavoura com baixa umidade ate 15%  | 0,125          | Fundo Falso   |
| E   | Úmidos e quentes saindo do secador com umidade residual baixa ate 15% ou 16%   | 0,125          | Fundo Falso   |
| F   | Úmidos e quentes saindo do secador com elevado teor de umidade, de 17% ou até 18%  | 0,200          | Fundo Falso   |

Fonte: Excelência em Beneficiamento e Armazenagem de Grãos

Para a escolha da vazão específica “q”, foi escolhido a opção *D* do Quadro 3, pois é uma das opções mais utilizadas na atualidade. Na escolha desse valor, já se substitui o valor para as alternativas, levando em consideração sempre a maior, logo a opção *F*, é uma opção raramente utilizada, então no nosso caso usaremos a opção *D*, que o valor da vazão específica é 0,125 para o milho [4]. Após ser determinado o valor da vazão específica, e o volume total dos grãos, assim pode se calcular a vazão total do ar com a equação 8.

$$Q = Vt * q \quad (8)$$

Onde:

- $Q =$  Vazão total ( $m^3/h$ );
- $Vt =$  Volume total ( $m^3$ );
- $q =$  Vazão específica ( $m^3/min.m^3$ );

Para determinar a potência do motor, será calculada a capacidade do silo em toneladas na equação (9), onde  $Pem$  é o peso específico do milho, definido por  $0,75t/m^3$ .

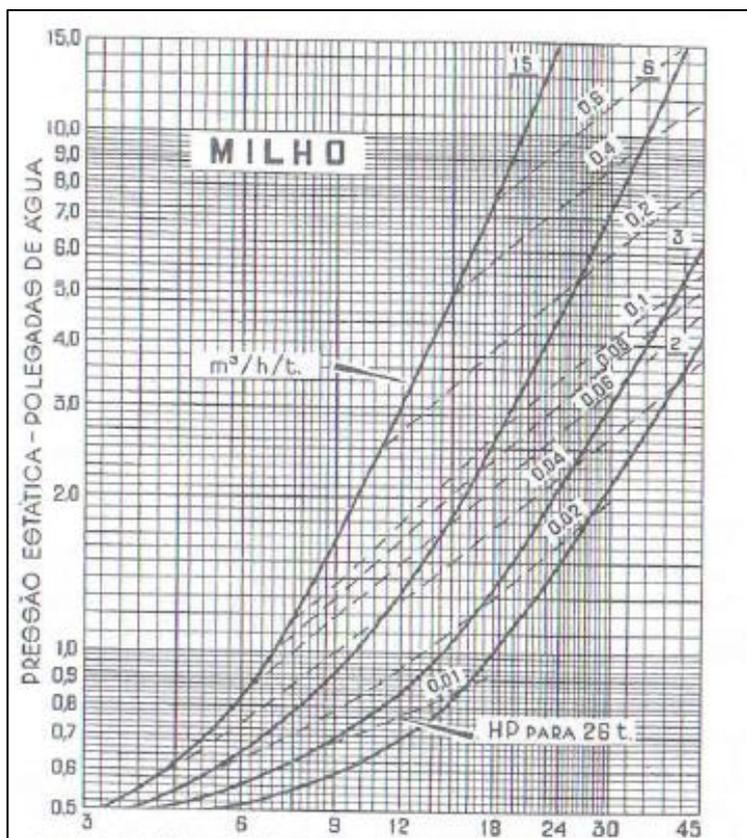
$$CMT = Vt * Pem \quad (9)$$

Onde:

- $CMT$  = Capacidade do silo em (toneladas);
- $Vt$  = Volume total ( $m^3$ );
- $Pem$  = Peso específico do produto, milho, ( $0,75t/m^3$ ).

Determinado o valor da capacidade do silo, de 5.432,98 toneladas, através da Figura 11, na altura de 24 metros, e subindo na vertical até a curva  $q = 10m^3/h/t$ , que deverá estar interpolada com a curva 6 e  $15m^3/h/t$ , determina-se a pressão estática igual a 8 polegadas de coluna de água. Logo, a potência do motor também é encontrada conforme a equação (10), utilizando-se 0,5 HP para 26 toneladas como apresenta o gráfico da Figura 11 [4].

Figura 11 - Gráfico para achar a potência do motor para 26 toneladas por saco e pressão estática.



Fonte: Excelência em Beneficiamento e Armazenagem de Grãos.

$$PM = \left(\frac{0,5}{26}\right) * CMT \quad (10)$$

Onde:

- $PM$  = Potência do Motor calculada (HP).

Determinada a potência do motor de 104,48 HP, acrescenta-se um valor de 30% devido às perdas. Como nas curvas, o fundo falso das tampas perfuradas, assim com esse acréscimo tem-se o valor da potência do motor apresentado na equação (11), onde  $n = 1,3$ , que seria os 100% mais os 30% de perdas.

$$P_{motor} = PM * n \quad (11)$$

Onde:

- $P_{motor}$  = Potência do Motor estimada (HP);
- $PM$  = Potência do motor calculada (HP);
- $n$  = Perdas adicionadas;

Determinada a potência de 135,82 HP, convertendo o valor em cavalos a vapor (CV), utilizando-se um fator de conversão de  $F_c = 1,01387$ , segundo a equação (12).

$$P_{motorCV} = P_{motor} * F_c \quad (12)$$

Onde:

- $P_{motorCV}$  = Potência do motor em CV;
- $P_{motor}$  = Potência do motor em estimada em HP;
- $F_c$  = Fator de conversão.

Determinada a potência necessária do motor de 137,7 CV, como uma sugestão, para um menor custo benefício, pode-se dividir por 2 (dois) e utilizar dois motores para a aeração. Neste caso, recomenda-se utilizar dois motores de 60 CV.

O conhecimento do tempo necessário para resfriar completamente a massa de grãos, é de muita importância para se realizar uma boa aeração. Com isso Lasseran (1981) diz que o tempo que é necessário para a zona de transição efetuar o processo de uma certa altura da massa de grãos a ser ventilada é dado pela equação (13) [14].

$$Th = \frac{H}{Vg} \quad (13)$$

Onde:

- $Th$  = Tempo necessário para a zona de transição ( h );
- $H$  = Altura da massa de grãos (m);
- $Vg$  = Velocidade de propagação do resfriamento (m/h).

A velocidade de propagação da zona de resfriamento se torna uma função principal da velocidade do ar, assim se calcula a vazão fornecida pelo ventilador. As equações (14) e (15) apresentam essas velocidades [14].

$$Va = \frac{Q}{S} \quad (14)$$

$$Vg = Va * \frac{Ra * Ca}{Rg * Cg} \quad (15)$$

Onde:

- $Va$  = Velocidade do ar (m/h);
- $Vg$  = Velocidade da zona de resfriamento (m/h);
- $Q$  = Vazão total (m<sup>3</sup>/h);
- $S$  = Seção da célula (m<sup>2</sup>);
- $Ra$  = Massa específica do ar (kg/m<sup>3</sup>);
- $Rg$  = Massa específica do grão (kg/m<sup>3</sup>);
- $Ca$  = Calor específico do ar (KJ/kg, °C);
- $Cg$  = Calor específico do grão (KJ/kg, °C).

Logo, Lasseran (1981) afirma que, experimentalmente, foi demonstrado que o tempo de aeração, é igual a três vezes o tempo de transição. Puzzi (1986) também recomenda esta fórmula de cálculo, e afirma que é um tempo provável de aeração [14]. Logo, o tempo de aeração é determinado pela equação (16).

$$Taer = 3 * Th = 3 * \frac{H}{Vg} \quad (16)$$

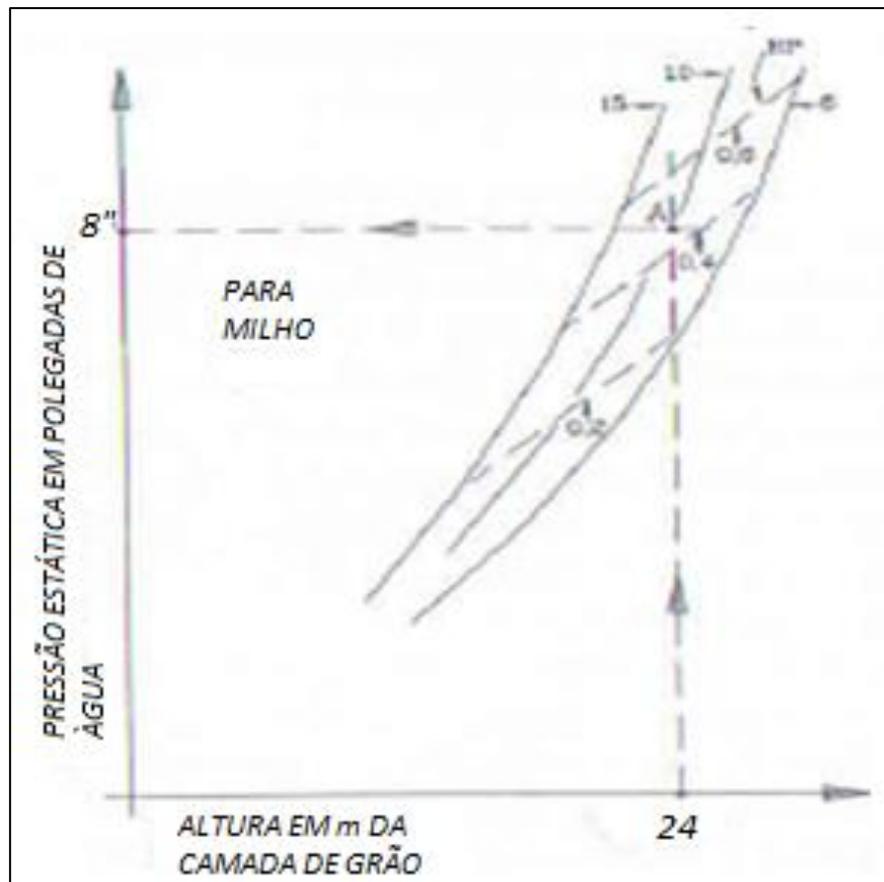
Onde:

- $Taer$  = Tempo de aeração (h);
- $H$  = Altura da massa de grãos a ventilar (m);

- $V_g$  = Velocidade da zona de resfriamento (m/h);
- $T_h$  = Tempo de Transição (h).

Portanto, é possível encontrar o consumo da energia elétrica. Reduzindo o consumo de energia se torna uma grande opção para que um processo de aeração em silos se torne rentável ao produtor, uma vez que ele é indispensável, vem ser muito necessário uma pressão para a passagem de ar sobre a massa dos grãos, conforme figura 12. É possível achar a pressão necessária para a passagem de ar na massa de grãos de milho com a equação 17 [4].

Figura 12 - Detalhes do Grafico da pressão para potência do motor.



Fonte: Excelência em Beneficiamento e Armazenagem de Grãos.

$$PE = pe * h \quad (17)$$

Onde:

- $PE$  = Pressão Estática;
- $pe$  = Massa específica do grão;

- $h$  = Altura massa dos grãos.

Determinado o valor da pressão estática  $PE$ , calcula-se a potência absorvida pelo ventilador através da equação (18) [14].

$$POT = \frac{P_{motorCV}}{Taer} \quad (18)$$

Onde:

- $POT$  = Potência absorvida pelo ventilador (kW);
- $P_{motorCV}$  = Potência do motor (CV);
- $Taer$  = Tempo de aeração.

Segundo Lasseran (1981) [14], a potência elétrica absorvida da rede, após a compactação da massa de grãos dentro da célula, considerando um peso específico médio de 0,8 t/m<sup>3</sup>, se se obtêm através da equação (19).

$$Par = \frac{POT}{0,8} \quad (19)$$

Onde:

- $Par$  = Potência absorvida da rede (kW);
- $POT$  = Potência absorvida pelo ventilador (kW).

Assim, para se calcular a energia consumida da rede elétrica, utiliza-se a potência absorvida ( $Par$ ) e o tempo na qual o sistema de aeração ficará ligado na rede ( $Tar$ ), conforme a equação (20) [14].

$$WE = Par * Taer \quad (20)$$

Onde:

- $WE$  = Energia consumida da rede (kWh);
- $Par$  = Potência absorvida da rede (kW);
- $Taer$  = Tempo de aeração (h).

A velocidade síncrona em rotações por minuto de um motor de indução, desconsiderando o escorregamento, pode ser obtida através da equação (21) [14]. Esses motores, na maioria das vezes, operam em velocidade nominal fazendo girar um ventilador que proporciona a circulação do ar nos silos. Para obter uma redução nos custos de energia elétrica e conseqüentemente uma maior eficiência na etapa de aeração e conservação dos grãos, pode-se utilizar inversores de frequência para alimentar os motores a assim variar a frequência da tensão que alimenta os motores e conseqüentemente a velocidade.

$$W2 = \frac{120 * F}{P} \quad (21)$$

Onde:

- $W2$  = velocidade síncrona em rotações por minuto (rpm);
- $F$  = Frequência (Hz);
- $P$  = Número de polos.

Segundo Doll (1989), a velocidade do eixo do motor é proporcional à vazão apresentada na equação (22), já a pressão varia com o quadrado da velocidade apresentada na equação (23), e a potência desenvolvida varia como cubo da velocidade apresentada na equação (24) [14]:

$$Q2 = Q1 * \frac{W2}{W1} \quad (22)$$

$$p2 = PE * \frac{W2^2}{W1} \quad (23)$$

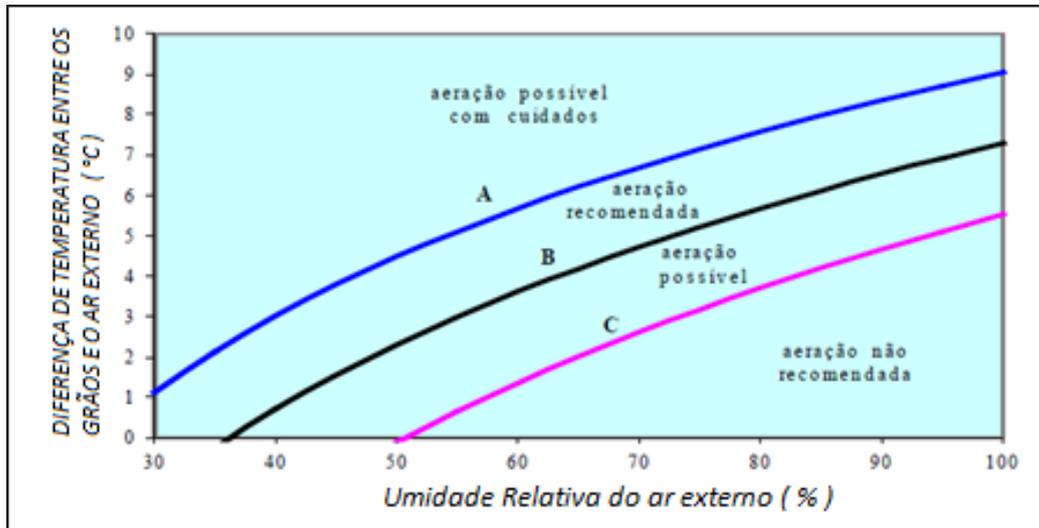
$$P2 = POT * \frac{W2^3}{W1} \quad (24)$$

Onde:

- $Q2$  = Vazão nova;
- $Q1$  = Vazão calculada;
- $p2$  = Pressão nova;
- $PE$  = Pressão estática;
- $P2$  = Potência nova;
- $POT$  = Potência absorvida pelo ventilador;
- $W2$  = Velocidade do eixo do ventilador com a nova frequência;
- $W1$  = Velocidade do eixo do ventilador com a frequência nominal de 60Hz;

Através do diagrama de Mollier, e as curvas higroscópicas de equilíbrio da umidade relativa do ar e o teor da água do grão, segundo Lasseran (1981), é possível adquirir um diagrama de condução da aeração, na qual nos permite ver se é preciso e possível fazer a aeração como mostrado na Figura 13 [14].

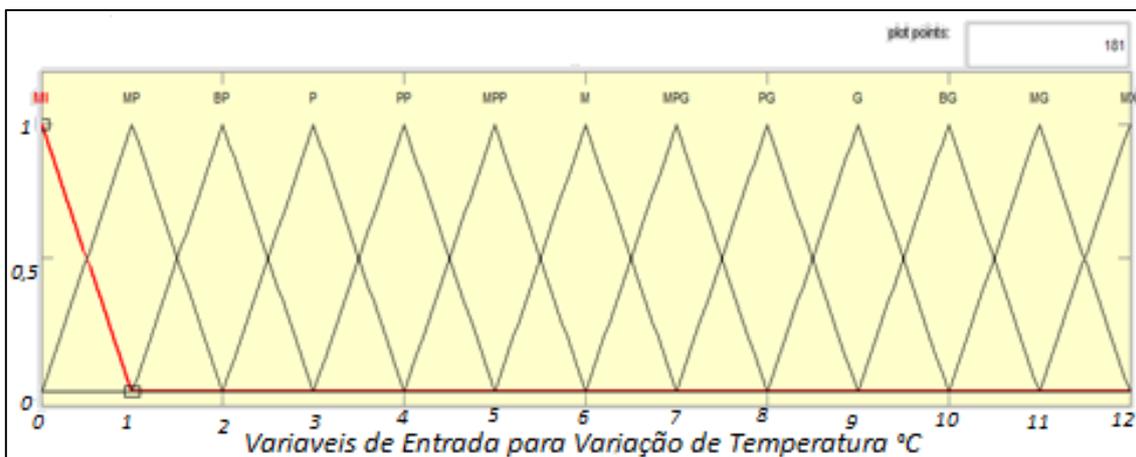
Figura 13 - Diagrama de Condução da Aeração.



Fonte: Modelo Fuzzy para obtenção do tempo de aeração em silos verticais visando reduzir o consumo de energia elétrica

Com o diagrama da Figura 13, será feita uma comparação da temperatura do ar externo com o ar interno, através da lógica Fuzzy. Para isso sabemos que a diferença entre o ar interno e ar externo tem que ser de 12°C, então para o Fuzzy, o limite inferior é de 0°C e o limite superior é de 12°C, seus intervalos de 1°C são adotados, apresentado na Figura 14, para obtenção de uma variação de temperatura e ver se é possível ligar o sistema ou se não é viável ligar o sistema, com isso, se a diferença de temperatura for superior ou inferior à faixa de 0° a 12°C o sistema não se ligará, pois nessa condição acima ou abaixo se torna muito perigoso aerar para não causar perdas de grão[14].

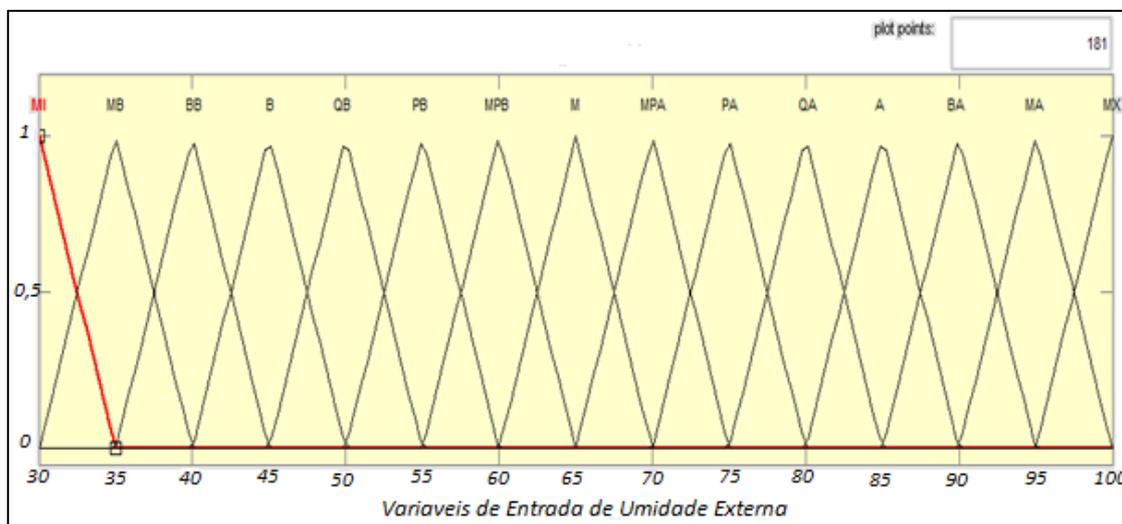
Figura 14 – Conjuntos fuzzy para s diferença de temperatura do ar externo com relação ao interno.



Fonte: Simulação MatLab.

Para a obtenção das condições certas, o sistema fuzzy compara entre a variação da temperatura do ar externo com a temperatura do ar interno, assim analisa se o sistema é vai ligar ou não. Após isso, compara com a umidade relativa do ar externo aonde seu limite inferior é de 30% e seu limite superior 100%, seu intervalo de 5%, como apresenta a Figura 15.

Figura – 15, Conjunto Fuzzy para umidade relativa do ar externo.



Fonte: Simulação MatLab.

Para obter as condições ideais para ligar, é feito uma comparação pelo método Fuzzy, os valores foram obtidos através da tabela de conservação dos grãos de milho, com esses valores pode-se observar se é ou não possível haver aeração, segue abaixo a figura 16 com a saída para as condições e seu quadro 6 da nomenclatura e símbolos.

Figura – 16, Sinal Saída Fuzzy por condições da aeração.



Fonte: Simulação em MatLab.

Quadro – 6, Nomeclatura e Símbolos das Condições da aeração.

| Conjunto Fuzzy para Condições | Símbolo  | Valor Atribuído |
|-------------------------------|----------|-----------------|
| Possíveis Com Cuidados        | <b>C</b> | 0               |
| Recomendado                   | <b>R</b> | 1               |
| Possíveis                     | <b>P</b> | 2               |
| Não recomendado               | <b>N</b> | 3               |

O Quadro 4, apresenta as condições do milho, mostrando onde é possível aerar ou não, com esse quadro foi possível fazer a comparação para o Fuzzy.

Quadro 4 - Valores Higroscopico do grão de milho.

|         |                        | UMIDADE RELATIVA [% U.R.]        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|         |                        | 30                               | 35   | 40   | 45   | 50   | 55   | 60   | 65   | 70   | 75   | 80   |
| ESPECIE | TEMPERATURA DO AR [°C] | EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO [% b.u.] |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| MILHO   | 12                     | 10,2                             | 11,2 | 11,8 | 12,4 | 12,9 | 13,4 | 13,9 | 14,5 | 15,4 | 16,7 | 18,6 |
|         | 14                     | 9,9                              | 10,9 | 11,6 | 12,1 | 12,6 | 13,1 | 13,6 | 14,3 | 15,0 | 16,2 | 18,1 |
|         | 16                     | 9,6                              | 10,6 | 11,3 | 11,8 | 12,3 | 12,8 | 13,3 | 14,0 | 14,8 | 15,8 | 17,5 |
|         | 18                     | 9,4                              | 10,3 | 11,0 | 11,5 | 12,0 | 12,5 | 13,1 | 13,7 | 14,3 | 15,4 | 16,9 |
|         | 20                     | 9,2                              | 10,1 | 10,8 | 11,3 | 11,8 | 12,2 | 12,9 | 13,4 | 14,1 | 15,0 | 16,3 |
|         | 22                     | 9,0                              | 9,8  | 10,5 | 11,1 | 11,6 | 12,0 | 12,6 | 13,1 | 13,8 | 14,6 | 15,8 |
|         | 24                     | 8,8                              | 9,6  | 10,2 | 10,9 | 11,4 | 11,8 | 12,4 | 12,9 | 13,6 | 14,3 | 15,4 |
|         | 28                     | 8,4                              | 9,2  | 9,8  | 10,4 | 11,0 | 11,4 | 11,9 | 12,5 | 13,2 | 13,9 | 14,9 |
|         | 32                     | 8,1                              | 8,8  | 9,4  | 9,9  | 10,5 | 10,9 | 11,4 | 12,0 | 12,7 | 13,4 | 14,4 |
|         | 36                     | 7,7                              | 8,4  | 9,0  | 9,4  | 10,0 | 10,4 | 11,0 | 11,6 | 12,2 | 12,9 | 13,8 |

|  |
|--|
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:yellow; border:1px solid black;"></span> <i>Muito Seco. ( Perda no Peso físico)</i>         |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:green; border:1px solid black;"></span> <i>Teor de Umidade Ideal.</i>                       |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:red; border:1px solid black;"></span> <i>Úmido. ( Risco de deterioração rápida )</i>        |
| <span style="display:inline-block; width:10px; height:10px; background-color:blue; border:1px solid black; border-radius:50%;"></span> <i>Livre de Fungos e Insetos.</i> |

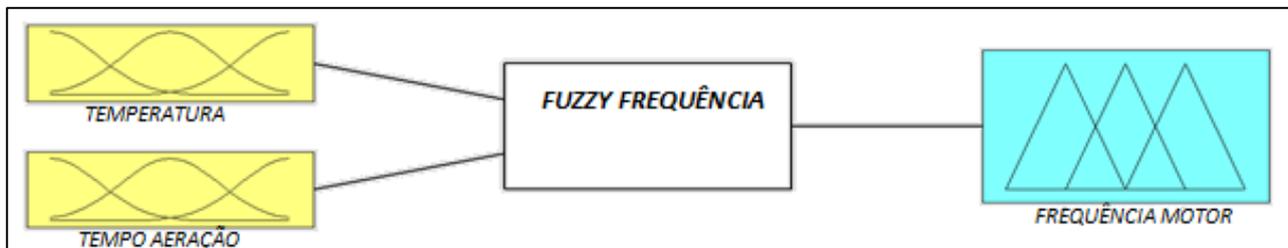
Fonte: AC Almeida e Cia, Manual de Conservação de Grãos.

Através do valor obtido pela condição e das equações apresentadas anteriormente, podemos com a leitura das temperaturas interna da massa dos grãos, uma média aritmética das cinco maiores temperaturas. Com essa média mais o tempo da aeração, se compara através do Fuzzy, nos apresenta uma frequência que envia um sinal para o inversor de frequência, fazendo com que baixe a velocidade do ventilador, aumentando seu tempo sem perder a eficaz, e consumindo pouca energia, assim se mantém mais eficiente por um tempo maior.

Na Figura 17, é possível observar o layout da lógica Fuzzy, onde aparece a comparação entre temperatura interna no tubo e o tempo de aeração calculado através do volume dos grãos, assim

passa por uma aquisição de regras, e fornece uma frequência de saída que será encaminhado para o inversor.

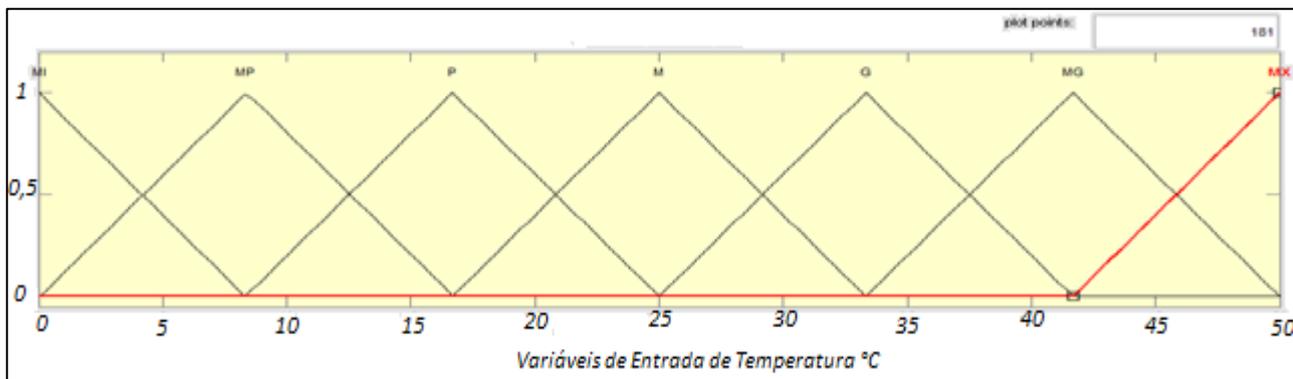
Figura 17 – Fuzzy por temperatura, tempo da aeração, e saída Frequencia do Ventilador.



Fonte: Simulação MatLab.

Na Figura 18, observamos os dados da temperatura, que vai atuar em uma faixa entre 0 a 50°C, que seria a temperatura externa, onde terá as cinco maiores temperaturas e terá então uma média aritmética, assim terá valores de variação por exemplo se está alto, ou baixo ou muito baixo etc. Com isso, tem – se uma variação de um grau de pertinência, entre 0 e 1.

Figura 18 – Variação de Temperatura na Logica Fuzzy.



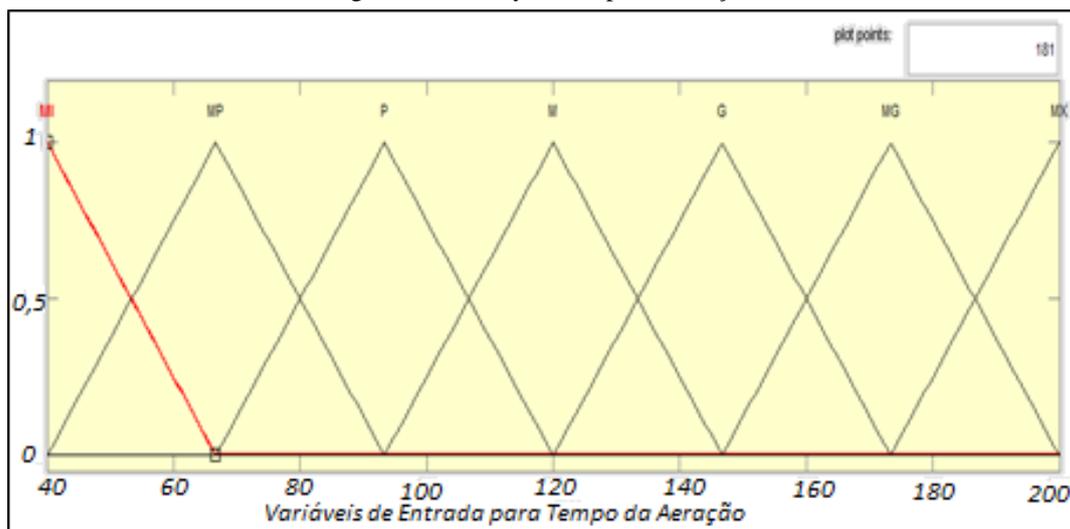
Fonte: Simulação MatLab.

Quadro 5 - Nomeclatura e símbolo utilizados na logica Fuzzy, para variação de temperatura.

| Nomeclatura Variação temperatura ou Símbolo | Valor Atribuido |
|---|-----------------|
| <b>MI</b>                                   | 0               |
| <b>MP</b>                                   | 8               |
| <b>P</b>                                    | 16              |
| <b>M</b>                                    | 25              |
| <b>G</b>                                    | 33              |
| <b>MG</b>                                   | 41              |
| <b>MX</b>                                   | 50              |

O Fuzzy demonstrado para a variação do tempo, é calculado através do volume da massa de grãos, assim se determina o tempo calculado através das características do grão. Esse valor determinado é encaminhado para um novo Fuzzy apresentado na Figura 19, onde o limite inferior é de 40 horas e o superior é de 200 horas.

Figura - 19, Fuzzy do tempo de aeração.



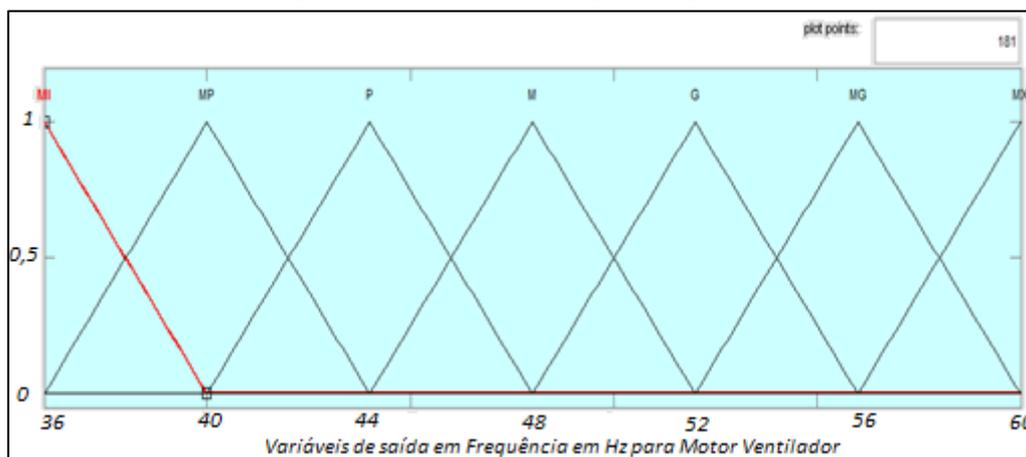
Fonte: Simulação MatLab.

Quadro 6 - Nomeclatura para tempo de aeração e símbolos.

| Nomeclatura Variação temperatura | Valor Atribuido |
|----------------------------------|-----------------|
| MI                               | 40              |
| MP                               | 65              |
| P                                | 90              |
| M                                | 120             |
| G                                | 145             |
| MG                               | 175             |
| MX                               | 200             |

O próximo passo é comparar a temperatura, e o tempo da aeração, na qual nos possibilita uma saída em frequência, entre 36 Hz e 60 Hz. A Figura 20, apresenta o Fuzzy de saída, e o quadro 7, apresenta a nomenclatura, seu símbolo e o valor atribuído, baseando-se na tabela higroscópica do grão de milho.

Figura 20 - Sinal saída Fuzzy para Frequência.



Fonte: Simulação MatLab.

Quadro 7 - Nomeclatura, Símbolos e valor atribuído para frequência.

| Nomeclatura Para Frequência | Valor Atribuido |
|-----------------------------|-----------------|
| MI                          | 36 Hz           |
| MP                          | 40 Hz           |
| P                           | 44 Hz           |
| M                           | 48 Hz           |
| G                           | 52 Hz           |
| MG                          | 56 Hz           |
| MX                          | 60 Hz           |

É possível observar que com um acréscimo no tempo da aeração, acontece uma variação de frequência, com essa variação de frequência se torna possível, reduzir o consumo de energia elétrica, baixando a potência consumida e reduzindo o custo para o produtor, mantendo uma conservação adequada evitando as perdas indesejadas.

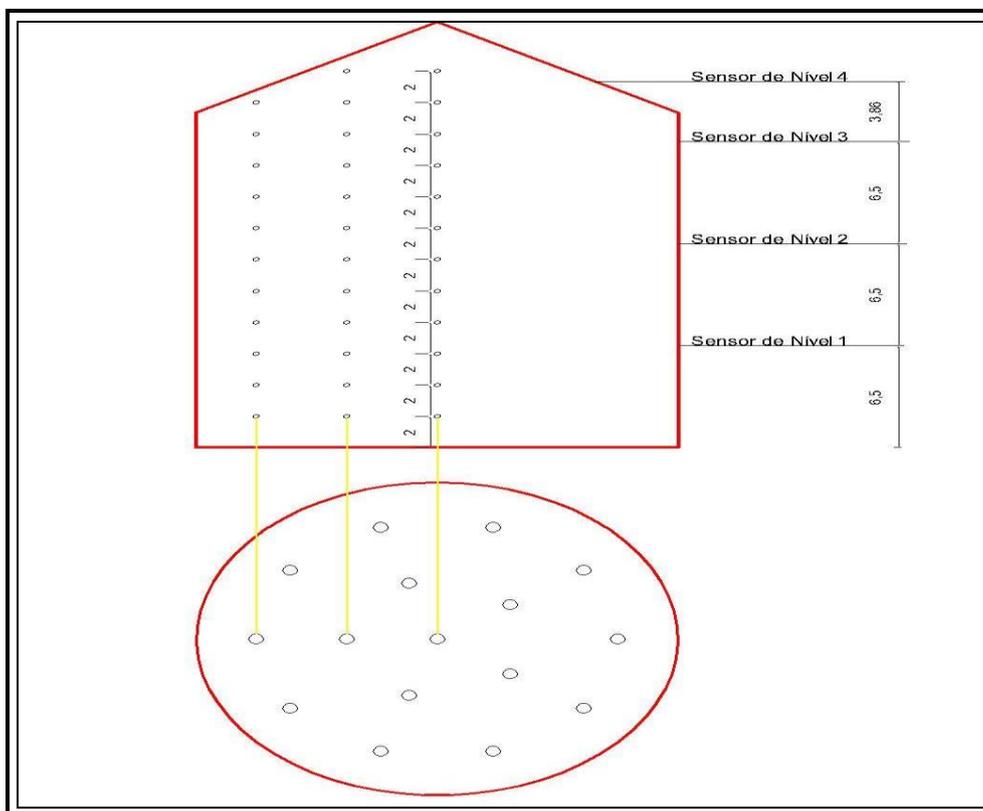
#### 4. RESULTADOS

Os resultados de simulação obtidos foram calculados através do software MatLab. No primeiro passo, o sistema fará a leitura da temperatura externa, umidade relativa do ar externo, e das temperaturas da massa dos grãos. Como o sistema é uma simulação, a temperatura do ar externo e umidade relativa do ar externo, será de um caso específico de 28°C e 64% de umidade relativa do ar. A leitura dos sensores internos do tubo, é uma leitura simulada pelo MatLab, ou seja, é uma leitura automática através da função “randi”.

Para um melhor entendimento, a Figura 21 apresenta a colocação desses sensores onde os da parede são os dez cabos com onze sensores e os central são os seis cabos do meio com doze sensores, ao lado tem os sensores de níveis que indica a altura da massa do grão.

O sensor de nível será informado, se está ativo ou não, se ele for ativo atribui – se o valor de 1, se não for ativo, ele atribui o valor de 0. Se ele for ativo, indica a altura que se encontra a massa de grãos, com essa altura, podemos saber quanto de vazão é necessário para aerar. Neste caso vamos dizer que o tubo esta pela metade com sementes de milho. Neste caso, o sistema vai ler os sensores até esta camada de grãos, e fará uma média aritmética com as maiores temperaturas. Os sensores de níveis estão apresentados na Figura 21.

Figura 21 - Localização dos Sensores.



Após determinado os sensores de nível ligados o programa nos apresenta a média das temperaturas atribuído em “Tmedia” e sua altura atual atribuído em h.

O próximo passo do sistema, é fazer uma diferença de temperatura “difTemp”, entre a temperatura externa e a média das temperaturas internas. Como determinamos a temperatura de 28°C, o sistema já calcula a umidade relativa do grão, “UeR”. Com a diferença das temperaturas o sistema indica se será ligado ou não, para ligar tem que dar um valor de “liga” uma faixa entre 0 a 2, que seria a sua condição para funcionamento.

O sistema deu condição para ligar, então agora faz – se o cálculo da seção da base “S”, depois o cálculo da vazão inicial “Q”. Logo na sequência temos o valor da potência do motor “P” necessária para essa altura de grãos. Após isso temos a velocidade que o ventilador manda vento para os grãos “Va”, calcula-se o calor específico do grão “Cg”, e assim, obtemos a velocidade que passa de ar pela massa dos grãos “Vg”.

Com a velocidade “Vg”, achamos o tempo “Th” que leva para aerar em uma frequência nominal de 60Hz. Agora é feita uma comparação pelo Fuzzy, entre esse tempo, com a temperatura externa para acharmos uma nova frequência.

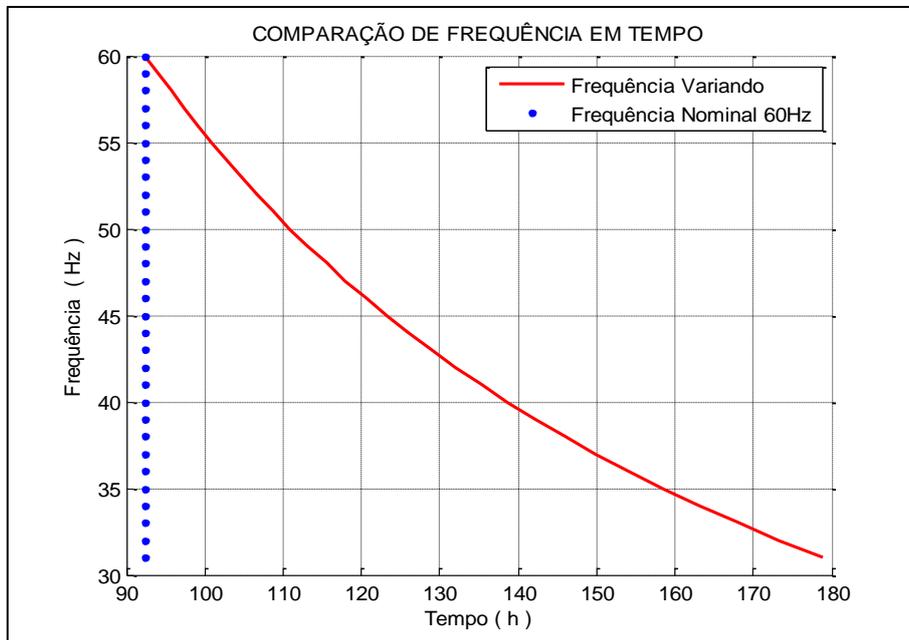
Com essa frequência nova que o inversor vai atuar, é calculado a velocidade no eixo do motor “w1” com frequência nominal e velocidade no eixo do motor “w2” com a nova frequência, então tem – se uma vazão nova “Q2” a diferença entre a pressão estática “PE” na frequência nominal, e a pressão estática “PE2” com a frequência nova, a potência “P2” que vai atuar baixando a frequência, a nova velocidade que chega a massa dos grãos “Va2”, uma nova velocidade que atravessa a massa dos grãos “Vg2”, e um novo tempo que leva para aerar “Th2”.

Com essas diferenças ao alterar a frequência, foi possível calcular a potência absorvida pelo ventilador com frequência nominal “POT” e a potência absorvida pelo ventilador com frequência nova “POT2”. Após calcular essa potência, foi calculado a potência absorvida pela rede, para frequência nominal “Par” e a potência absorvida pela rede para frequência nova “Par2”, e assim calculamos a energia consumida pela rede com frequência nominal “WE” e a energia consumida pela rede com frequência nova “WE2”.

Com essas comparações foi comprovado que o sistema se torna muito mais eficiente, levando seus cuidados para não haver perdas. Os resultados apresentados nas Figuras 22 e 23 comprovam que se torna viável o uso do Fuzzy para um sistema de automação e eficiência. É de extrema importância levar em consideração vários fatores, que possibilitam diversas mudanças, é uma

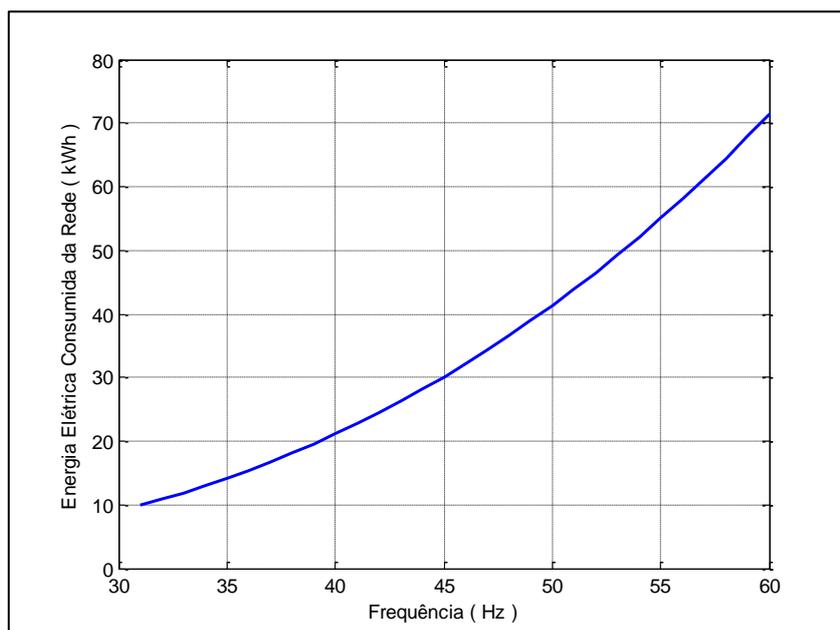
análise muito delicada, para não obter erros, e acabar perdendo o produto, foi possível ter resultados que aumentando o tempo na aeração e baixando a frequência como mostra na Figura 22.

Figura 22 - Comparação da Frequência no Tempo.



Como apresenta a Figura 22, podemos observar, na linha pontilhada, o tempo de aeração na frequência nominal de 60 Hz, já na curva contínua, é possível observar que conforme a frequência vai diminuindo, o tempo de aeração vai aumentando. Na Figura 23, pode-se observar a potência absorvida da rede de acordo com a frequência.

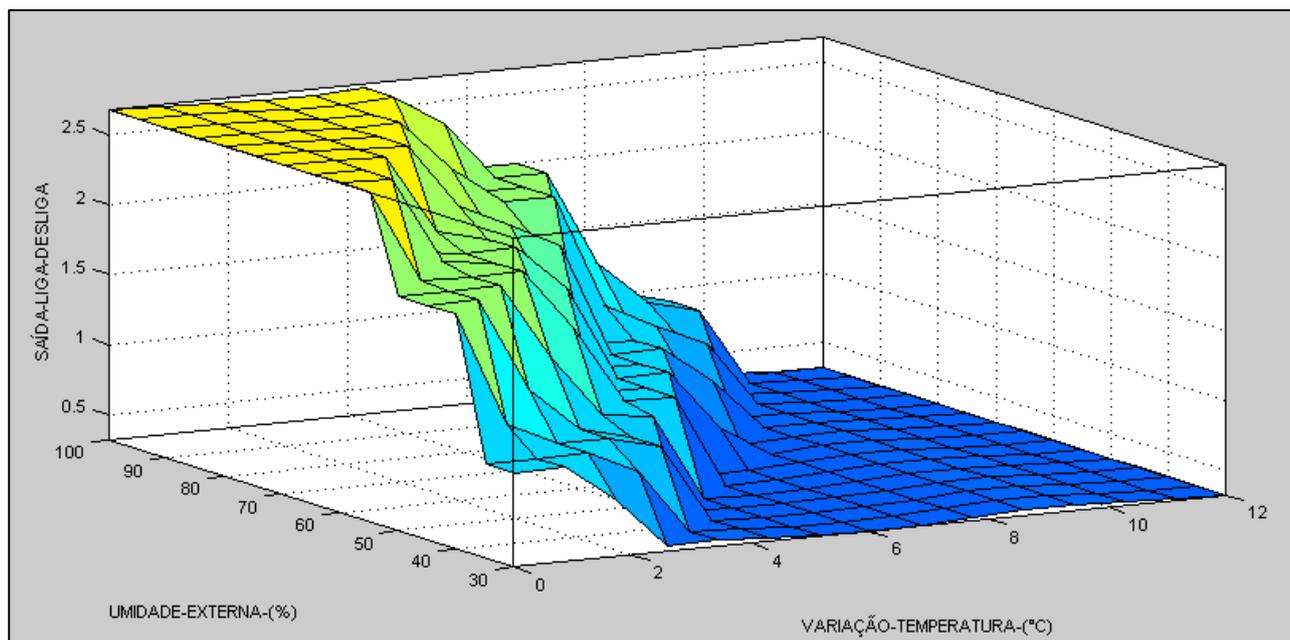
Figura 23 - Energia Consumida da rede com relação à frequência.



Pode se observar que conforme a frequência se aproxima mais da frequência nominal de 60 Hz, maior é a energia consumida pela rede, com isso, podemos chegar a conclusão que realmente se aumentar o tempo na aeração maior será a eficiência, então, a frequência baixa a potência do motor baixa, então pode se reduzir custo mantendo a conservação dos grãos em ótima qualidade.

Pelo método Fuzzy, podemos observar a Figura 24, que apresenta as condições desejadas, que por sua vez se não estiver nas condições necessárias o sistema não estará em trabalho, ou seja, não vai ligar.

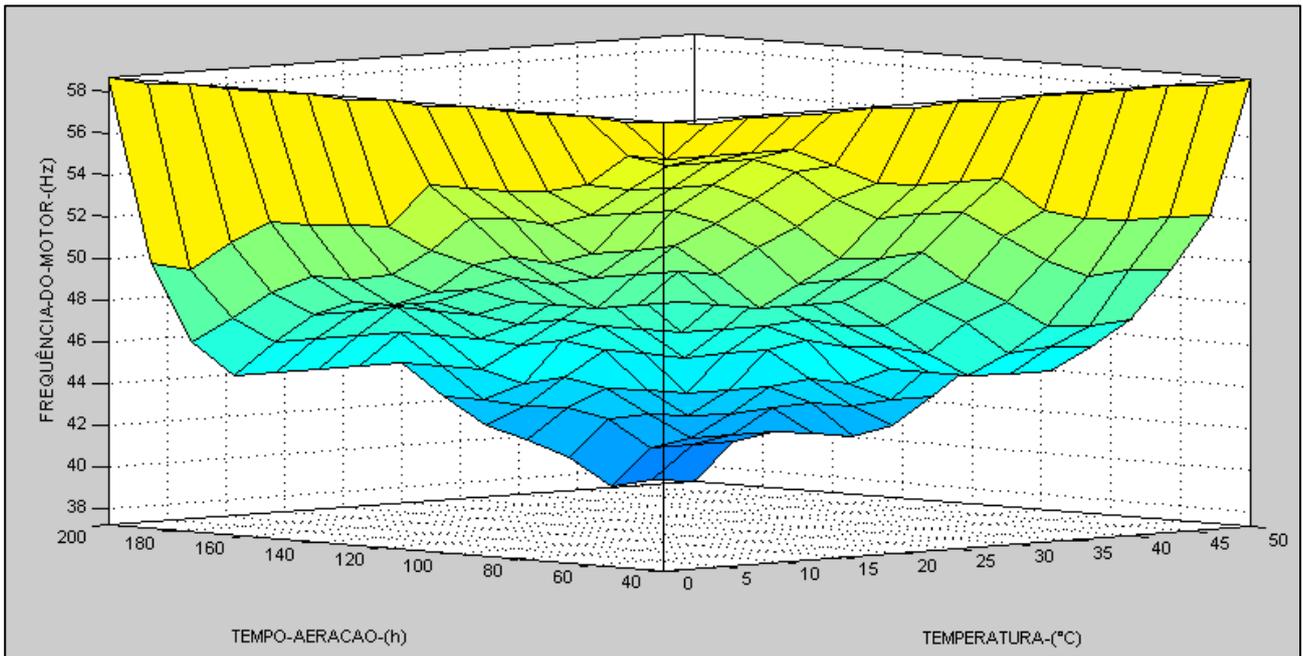
Figura 24 - Umidade por Temperatura por Condição.



Através da Figura 24, nota-se que ao variar a diferença de temperatura interna e externa mantendo 12°C como diferença da temperatura interna para temperatura externa, ou variando a umidade externa, teremos uma condição entre 0 a 3, e qual nos indicará se é possível ter uma aeração adequada ou não onde a condição 3 não é adequada, então o sistema trabalha em uma faixa de condição de 0 até 2. Se for superior a 2 o sistema não liga, para não haver uma perda indesejada.

Na Figura 25, é possível observar a variação de temperatura e o tempo, obtendo o sinal de saída a frequência, através da lógica Fuzzy.

Figura 25 - Tempo Aeração por Temperatura por Frequência do Ventilador.



Como apresenta a Figura 25, ao se ter uma variação na temperatura, e uma variação no tempo da aeração, através da altura da massa de grãos, é possível achar uma frequência entre 36 Hz ate 60 Hz, assim pelo Fuzzy, observa-se que quanto maior o tempo menor a frequência e conforme a temperatura adequada possibilita uma frequência desejada.



## **5. CONCLUSÃO**

Foi desenvolvida uma técnica construída através de um sistema fuzzy baseado em regras para controlar a velocidade de ventiladores na aeração de sistemas de armazenamento. Para isso foram utilizadas técnicas computacionais e matemáticas, para a realização do desenvolvimento da lógica assim como, fazer o comparativo de temperatura e umidade e assim determinar a velocidade do giro do motor de acordo com a quantidade de grãos dentro do tubo armazenador, a umidade relativa do ar e também temperatura dos grãos.

Com isso, foi possível aumentar a eficiência de sistemas armazenadores, diminuindo-se o consumo da energia elétrica consumida pelos motores dos ventiladores, eliminando perdas nos produtos mantendo em uma melhor conservação, foi possível observar que aumentando o tempo de aeração nos conseguimos através da frequência baixar a potência consumida pela rede, mostrando que realmente se torna viável esse método para deixar mais eficaz e favorável ao consumidor.

Observamos também, que cada variedade de grão possui uma característica específica de armazenamento, as quais são levadas em consideração, com isso é possível determinar uma vazão específica para um dado volume de produto armazenado, fazendo que ele seja bem aerado por um tempo determinado e correto matematicamente conforme suas especificações necessárias.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Elias, Moacir Cardoso. Manejo tecnológico da secagem e do armazenamento de Grãos. Pelotas: Editora Santa Cruz, 2009. 372p.
- [2] Hara, Tetuo. Aeração com qualidade, Cultivar Máquinas, Pelotas, RS, pp. 26-32, ed.21, maio/junho de 2003.
- [3] AC Almeida e Cia, Manual de Conservação de Grãos, disponível em [www.acalmeidaacia.com.br](http://www.acalmeidaacia.com.br).
- [4] Weber, Érico Aquino. Excelência em Beneficiamento e Armazenagem de Grãos, Canoas: Editora Salles, 2005, 586p.
- [5] Zadeh, L. Information and control. Fuzzy Sets, v. 8, p. 333–353, 1965.
- [6] Zadeh, L. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process. IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetic 1, p. 28–44, 1973.
- [7] Ferreira, Carlos C. T. Análise Matemática de Modelos Fuzzy Takagi-Sugeno no Domínio da Frequência via Transformada Discreta, Revista INNOVER, vol. 1, nº 1, pp. 77- 84, Março 2014.
- [8] Editora e Gráfica Universitaria – UFPel, Equipamentos, para pré-processamento de grãos, 2002.
- [9] Lazzari , Flavio A.; Lazzari, Sonia M. N. Recebimento, Secagem e Armazenamento de Arroz em Casca, Curitiba, Brasil. Cool Seeds, Boletins técnicos em <http://www.coolseed.com.br/pt/beneficios/boletins-tecnicos.html>
- [10] WEG, Cocari Cooperativa, Solução de Eficiência Energética para Aeração de Silos de Armazenagem de Grãos, Estudo de caso, Borrazópolis – PR, 2011.
- [11] LASSERAN, J. C. *Aeração de grãos*. Viçosa: CENTREINAR, 1981.
- [12] PUZZI, D. Abastecimento e armazenagem de grãos. *Grãos - Armazenagem*. Campinas, SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986.
- [13] Juarez de Souza e Silva, Adílio Flauzino de Lacerdo Filho, Ivano Alessandro Devilla, Aeração de Grãos Armazenados, Secagem e Armazenamento de Produtos Agricula.
- [14] Luiz Francisco da Cruz, Modelo Fuzzy para obtenção do tempo de aeração em silos verticais visando reduzir o consumo de energia elétrica, Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP. Junho – 2001.



## ANEXO

### Programa simulado em MatLab.

```
% umidade de equilibrio - MILHO
clc;
clear all;
close all;
UR = 0.1:0.01:1.00;
T = [0 8 14 20 22 25 28 31 33 36 40 45];
Temp=input('Digite a Temperatura Externa ');
Umid=input('Digite a Umidade Externa ');
SensoresParede=[randi(35,11,10)]
SensoresCentral=[randi(35,12,6)]
SN1=input('Digite se o Sensor Nivel 1 esta ativado para sim 1 e 0 para não ')
SN2=input('Digite se o Sensor Nivel 2 esta ativado para sim 1 e 0 para não ')
SN3=input('Digite se o Sensor Nivel 3 esta ativado para sim 1 e 0 para não ')
SN4=input('Digite se o Sensor Nivel 4 esta ativado para sim 1 e 0 para não ')
%Primeiro Caso
if SN1==1 && SN2==0 && SN3==0 && SN4==0
    for x=1:3
        a(x,:)=SensoresParede(x,:)
    end
    %inicio média sensores Parede
    [i k]=size(a)
    c=[1,i*k];
    cont=1;
    for n=1:i
        for m=1:k
            c(1,cont)=a(n,m);
            cont=cont+1;
        end
    end
    [ordenado,ordem]=sort(c);
    media=ordenado(1,i*k);
    for s=1:4
        media =ordenado(1,i*k-s) + media;
    end
    media=media/5
    %fim média sensores parede
    %inicio média sensores Central
    for x=1:3
        b(x,:)=SensoresCentral(x,:)
    end
    [i k]=size(b)
    c=[1,i*k];
    cont=1;
    for n=1:i
        for m=1:k
            c(1,cont)=b(n,m);
            cont=cont+1;
        end
    end
    [ordenado,ordem]=sort(c);
    medial=ordenado(1,i*k);
    for s=1:4
        medial =ordenado(1,i*k-s) + medial;
    end
    %fim média sensores Central
    medial=medial/5;
    Tmedia=(media+medial)/2
    h=6.5
end
%fim do primeiro Caso
%% inicio Segundo Caso
if SN1==1 && SN2==1 && SN3==0 && SN4==0
    for x=1:6
        a(x,:)=SensoresParede(x,:)
    end
    %inicio média sensores Parede
    [i k]=size(a)
    c=[1,i*k];
    cont=1;
    for n=1:i
        for m=1:k
            c(1,cont)=a(n,m);
            cont=cont+1;
        end
    end
    [ordenado,ordem]=sort(c);
    media=ordenado(1,i*k);
    for s=1:4
        media =ordenado(1,i*k-s) + media;
    end
    media=media/5
    %fim média sensores parede
    %inicio média sensores Central
```

```

for x=1:6
    b(x,:)=SensoresCentral(x,:)
end
[i k]=size(b)
c=[1,i*k];
cont=1;
for n=1:i
    for m=1:k
        c(1,cont)=b(n,m);
        cont=cont+1;
    end
end
[ordenado,ordem]=sort(c);
medial=ordenado(1,i*k);
for s=1:4
    medial =ordenado(1,i*k-s) + medial;
end
%fim média sensores Central
medial=medial/5;
Tmedia=(medial+medial)/2
h=13
end
%fim do Segundo Caso
%% TERCEIRO CASO
if SN1==1 && SN2==1 && SN3==1 && SN4==0
    for x=1:9
        a(x,:)=SensoresParede(x,:)
    end
    %inicio média sensores Parede
    [i k]=size(a)
    c=[1,i*k];
    cont=1;
    for n=1:i
        for m=1:k
            c(1,cont)=a(n,m);
            cont=cont+1;
        end
    end
    [ordenado,ordem]=sort(c);
    media=ordenado(1,i*k);
    for s=1:4
        media =ordenado(1,i*k-s) + media;
    end
    media=media/5
    %fim média sensores parede
    %inicio média sensores Central
    for x=1:9
        b(x,:)=SensoresCentral(x,:)
    end
    [i k]=size(b)
    c=[1,i*k];
    cont=1;
    for n=1:i
        for m=1:k
            c(1,cont)=b(n,m);
            cont=cont+1;
        end
    end
    [ordenado,ordem]=sort(c);
    medial=ordenado(1,i*k);
    for s=1:4
        medial =ordenado(1,i*k-s) + medial;
    end
    %fim média sensores Central
    medial=medial/5;
    Tmedia=(medial+medial)/2
    h=19.5
end
% FIM TERCEIRO CASO

%% QUARTO CASO
if SN1==1 && SN2==1 && SN3==1 && SN4==1
    for x=1:11
        a(x,:)=SensoresParede(x,:)
    end
    %inicio média sensores Parede
    [i k]=size(a)
    c=[1,i*k];
    cont=1;
    for n=1:i
        for m=1:k
            c(1,cont)=a(n,m);
            cont=cont+1;
        end
    end
    [ordenado,ordem]=sort(c);
    media=ordenado(1,i*k);

```

```

for s=1:4
    media =ordenado(1,i*k-s) + media;
end
media=media/5
%fim média sensores parede
%inicio média sensores Central
for x=1:12
    b(x,:)=SensoresCentral(x,:)
end
[i k]=size(b)
c=[1,i*k];
cont=1;
for n=1:i
    for m=1:k
        c(1,cont)=b(n,m);
        cont=cont+1;
    end
end
[ordenado,ordem]=sort(c);
medial=ordenado(1,i*k);
for s=1:4
    medial =ordenado(1,i*k-s) + medial;
end
%fim média sensores Central
medial=medial/5;
Tmedia=(media+medial)/2
h=26.47
end

%calcula e imprime CURVA DO MILHO PARA TODAS TEMPERATURAS
nT=length(T);
nUR=length(UR);
Ue = zeros(nT,nUR);

for i=1:nT
    for j=1:nUR
        Ue(i,j) = abs(120.6*(-log10(1-UR(j)))/((T(i)+45.6))^0.5);
    end
    plot(UR*100,Ue(i,:), 'Color', [(i/nT-1/nT) 0 1-(i/nT-1/nT)], 'LineWidth',2);hold on,grid on;
    ylabel('TEMPERATURA °C')
    xlabel('UMIDADE UeR')
    title('CURVA HIGROSCÓPICA DO GRÃO DE MILHO')
end
%
%Diferença temperatura externa com temperatura Interna
difTemp=(Tmedia - Temp)

if difTemp>=0 && difTemp<=12

    UeR = abs(120.6*(-log10(1-(Umid)/100))/((Temp+45.6))^0.5)
    %FUZZY CONDIÇÃO
    liga=controlador1(difTemp,Umid)

    if liga<2 && liga>0

        %calcula e imprime CURVA DO MILHO
        Ue = abs(120.6*(-log10(1-UR))/((Temp+45.6))^0.5);
        figure
        plot(UR,Ue, 'b', 'LineWidth',3);
        grid on
        ylabel('TEMPERATURA °C')
        xlabel('UMIDADE UeR %')
        title('CURVA HIGROSCÓPICA DO MILHO')

        %
        %CALCULO DA SECAO DA CELULA
        D = 20;
        S = (3.14*D^2)/4
        %Calculo da Vazao e Volume

        if h>21.37
            volume=(3.14*D^2/4)*21.37 + (((3.14*D^2)/4)*(h-21.37))/3;
        else
            volume=(3.14*D^2/4)*h;
        end
        %está calculando o volume de grãos no silo

        Cmt=volume*0.75;
        vazao_esp=0.125;
        Q=volume*vazao_esp;
        %
        if h>21.37
            Am=(h-21.37)/2 + 21.37;
        else
            Am=h;
        end
        Q=Q*60
    end
end

```

```

%Calculo da Potencia do Motor
P=((0.5/26)*Cmt*1.3)*0.746
%
%CALCULO DA VELOCIDADE DO AR
Va = Q/S
%
%CALCULO DA VELOCIDADE DA ZONA DE RESFRIAMENTO
Ra = 1.2928; %Massa volumetrica media do ar
Rg = 750; % Massa especifica do grão = 750 kg/m³
Ca = 1.00416; %Calor especifico medio do ar
Cg = 0.35+0.851*(UeR/(100+UeR))

Vg = Va*((Ra*Ca)/(Rg*Cg))
%
%Calculo tempo da aeração
H = h; %Altura da massa de grãos (m)
Th = 3*(H/Vg)
%FUZZY FREQUENCIA
frequencia=controlador(Temp,Th)

%Calculo da VELOCIDADE NOMINAL COM 60Hz
FN = 60; %Frequencia 60 Hz
po = 2; %Numero de polos do motor
w1 = (120*FN)/po
%
%Calculo da VELOCIDADE VARIANDO A FREQUENCIA
w2 = (120*frequencia)/po
%
%Calculo da nova vazão com variação na frequencia
Q2 = Q*(w2/w1)
%
%Calculo da pressão estatica, dados obtidos na tabela pag 569
PE = 8*25.4
%
%Calculo da pressão estatica nova
PE2 = PE*(w2/w1)^2
%
%Calculo da nova Potencia
P2 = P*(w2/w1)^3
%
%Calculo do novo tempo
%CALCULO DA VELOCIDADE DO AR
Va2 = Q2/S
%
%CALCULO DA VELOCIDADE DA ZONA DE RESFRIAMENTO
Ra2 = 1.2928; %Massa volumetrica media do ar
Rg2 = 750; % Massa especifica do grão = 750 kg/m³
Ca2 = 1.00416; %Calor especifico medio do ar
Cg2 = 0.35+0.851*(UeR/(100+UeR))

Vg2 = Va2*((Ra2*Ca2)/(Rg2*Cg2))
%
%Calculo tempo da aeração
H2 = h; %Altura da massa de grãos (m)
Th2 = 3*(H2/Vg2)
%
%Calculo da Pontencia Absorvida pelo venteador
POT = P/Th
POT2 = P2/Th2
%
%Calculo da Potencia Absorvida pela Rede
Par = POT/0.8
Par2 = POT2/0.8
%
%Calculo da energia elétrica consumida pela rede
WE = Par*Th
WE2 = Par2*Th2
end
end

figure
F=31:60;

for i=1:30
%Calculo da VELOCIDADE VARIANDO A FREQUENCIA
w2(i) = (120*F(i))/po;
%
%Calculo da nova vazão com variação na frequencia
Q2(i) = Q*(w2(i)/w1);
%
%Calculo da pressão estatica, dados obtidos na tabela pag 569
PE = 8*25.4;
%
%Calculo da pressão estatica nova
PE2(i) = PE*(w2(i)/w1)^2;
%
%Calculo da nova Potencia

```

```

P2 = P*(w2(i)/w1)^3;
%
%Calculo do novo tempo
%CALCULO DA VELOCIDADE DO AR
Va2(i) = Q2(i)/S;
%
%CALCULO DA VELOCIDADE DA ZONA DE RESFRIAMENTO
Ra2 = 1.2928; %Massa volumetrica media do ar
Rg2 = 750; % Massa especifica do grão = 750 kg/m³
Ca2 = 1.00416; %Calor especifico medio do ar
Cg2 = 0.35+0.851*(UeR/(100+UeR));

Vg2(i) = Va2(i)*((Ra2*Ca2)/(Rg2*Cg2));
%
%Calculo tempo da aeração
H2 = h; %Altura da massa de grãos (m)
Th2(i) = 3*(H2/Vg2(i));
%
%Calculo da Pontencia Absorvida pelo venteador
POT = P/Th;
POT2(i) = P2/Th2(i);
%
%Calculo da Potencia Absorvida pela Rede
Par = POT/0.8;
Par2(i) = POT2(i)/0.8;
%
%Calculo da energia elétrica consumida pela rede
WE = Par*Th;
WE2(i) = Par2(i)*Th2(i);
Thi(i)=Th;
WEi(i)=WE;
end

hold on;grid on
plot(Th2,F,'r','LineWidth',2)
plot(Thi,F, '.')
title('COMPARAÇÃO DE FREQUÊNCIA EM TEMPO')
legend('Frequência Variando','Frequência Nominal 60Hz')
xlabel('Tempo ( h )')
ylabel('Frequência ( Hz )')

figure
plot(F,WEi,'r','LineWidth',2)
plot(F,WE2,'b','LineWidth',2)
ylabel('Energia Elétrica consumida pela rede')
xlabel('Frequência em Hz')
grid on

```

#### Função para chamar o Fuzzy Condição.

```

function [ Y ] = controlador1( entrada_1, entrada_2)

inferencia = readfis('FUZZY_CONDICAO'); % Chama arquivo .fis
Y = evalfis([entrada_1, entrada_2], inferencia);

end

```

#### Função para chamar o Fuzzy Frequência.

```

function [ Y ] = controlador( entrada_1, entrada_2)

inferencia = readfis('FUZZY_FREQUENCIA'); % Chama arquivo .fis
Y = evalfis([entrada_1, entrada_2], inferencia);

end

```