

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UFU
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA – FEELT
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

LEONARDO KHALIL ALVES BORGES DIAS PEREIRA

INDÚSTRIA 4.0 E SUAS APLICAÇÕES NO PROCESSAMENTO DE TABACO

**UBERLÂNDIA
MAIO 2023**

**LEONARDO KHALIL ALVES
BORGES DIAS PEREIRA**

INDÚSTRIA 4.0 E SUAS APLICAÇÕES NO PROCESSAMENTO DE TABACO

Trabalho apresentado a Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof.^a Dra. Gabriela Vieira Lima

UBERLÂNDIA
MAIO 2023

**LEONARDO KHALIL ALVES
BORGES DIAS PEREIRA**

INDÚSTRIA 4.0 E SUAS APLICAÇÕES NO PROCESSAMENTO DE TABACO

Trabalho apresentado a Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Banca de avaliação:

Prof.^a. Dra. Gabriela Vieira Lima
Orientador

Prof. Dr. Carlos Eduardo Tavares

Prof. Dr. Renato Santos Carrijo

Uberlândia (MG), 29 de Maio de 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os docentes do curso pelos ensinamentos e aprendizados que foram disseminados durante todo curso pela Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT).

Agradeço também aos meus pais, Aline Beatriz e Luiz Fernando, e ao meu irmão, Heitor, por todo suporte e apoio durante o curso. Dedico a eles essa grande conquista.

RESUMO

O consumo de folhas de tabaco difundiu-se em grande parte dos países europeus e demais nações desde o século XV. O início do século XX foi marcado pela intensa globalização econômica e expansão de um meio técnico-científico e informacional que acarretou em mudanças nas organizações e na dinâmica de desenvolvimento do mercado mundial de tabaco. Assim, a indústria do tabaco passa a ser acompanhada de uma crescente modernização do processo produtivo, visando o aumento da produção e da produtividade. A Indústria 4.0 é baseada em tecnologias inovadoras, como inteligência artificial, Internet das Coisas e big data. Essas tecnologias permitem a criação de sistemas altamente autônomos e personalizáveis, sem comprometer as vantagens da produção em massa. Sendo assim, o objetivo deste trabalho consistiu em empregar uma inteligência artificial que fosse capaz de aprender com os dados do processo e avaliar sua assertividade em uma etapa do processamento de tabaco em uma indústria. Com a conclusão do projeto foi possível obter uma economia de mais de R\$ 500,000.00/ano, tornando o processo mais robusto, eficaz, customizado e autônomo.

Palavras-chave: Secador; Automação; Inteligência Artificial.

ABSTRACT

The consumption of tobacco leaves has spread in most European countries and other nations since the fifteenth century. The beginning of the twentieth century was marked by intense economic globalization and expansion of a technical-scientific and informational environment that led to changes in organizations and in the dynamics of development of the world tobacco market. Thus, the tobacco industry is now accompanied by a growing modernization of the production process, aiming at increasing production and productivity. Industry 4.0 is based on innovative technologies such as artificial intelligence, the Internet of Things and big data. These technologies enable the creation of highly autonomous and customizable systems without compromising the advantages of mass production. Thus, the objective of this work was to employ an artificial intelligence that was able to learn from the process data and evaluate its assertiveness in a stage of tobacco processing in an industry. With the completion of the project it was possible to obtain savings of more than R\$ 500,000.00 / year, making the process more robust, effective, customized and autonomous.

Keywords: Airdryer; Automation; Artificial Intelligence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Revoluções Industriais.....	11
Figura 2 - Secador de tabaco.	13
Figura 3 - Coluna de secagem e ciclone.....	14
Figura 4 - Exemplo de um neurônio artificial	19
Figura 5 - Fluxograma controle de temperatura	20
Figura 6 - Fluxograma da relação entre peso do cigarro e umidade.....	22
Figura 7 - Comparativo da assertividade de entrega de umidade.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resultados obtidos.....	23
-----------------------------------	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivo	12
1.2	Justificativa.....	12
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	13
2.1	O secador de tabaco.....	13
2.2	A indústria 4.0	15
2.3	Inteligência Artificial.....	17
2.3.1	Lógica Fuzzy	18
2.3.2	Redes Neurais	18
3	METODOLOGIA	20
4	RESULTADOS.....	22
5	CONCLUSÃO	25
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1 INTRODUÇÃO

O consumo de folhas de tabaco difundiu-se em grande parte dos países europeus e demais nações desde o século XV. No entanto, foi somente após a Segunda Guerra Mundial que o consumo de cigarros expandiu-se pelo restante do mundo associado aos hábitos culturais e urbanos.

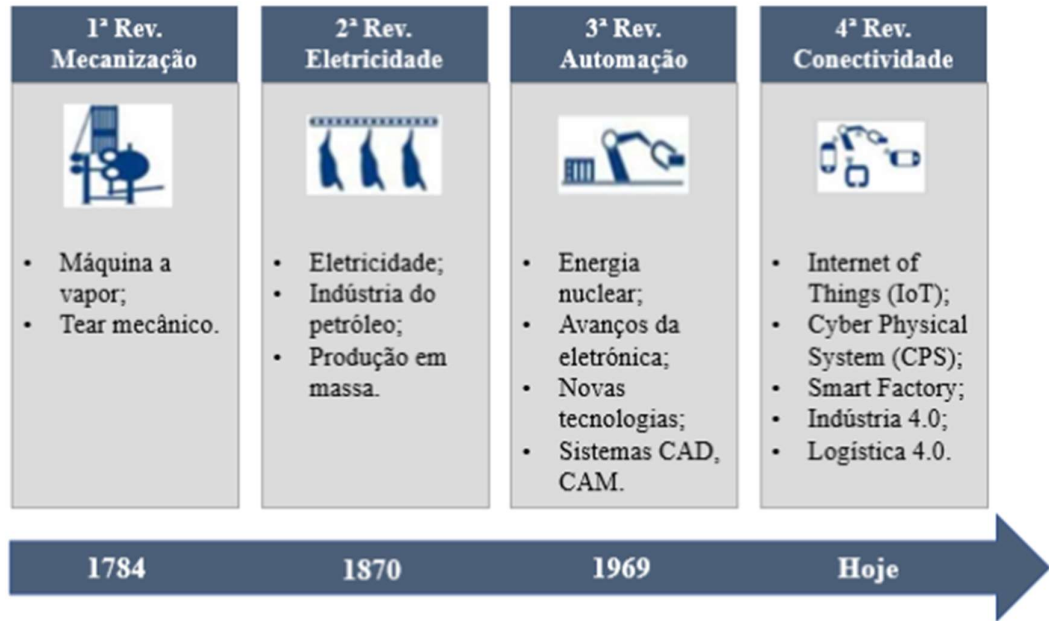
Daí em diante, houve um aumento progressivo nos níveis de produtividade das lavouras de tabaco, de seu processamento e da produção de cigarros conforme o mercado tabagista também crescia. De acordo com Silveira (2010), a partir da década de 1980, com a comprovação dos malefícios do cigarro para a saúde do homem, surgiram campanhas públicas e legislações em combate ao tabagismo, mas que não têm sido suficientes para impedir o crescimento da indústria do tabaco no âmbito mundial, mas estimulam mudanças e redução de custos em suas produções.

Milton Santos, em 1996, relata que o início do século XX foi marcado pela intensa globalização econômica e expansão de um meio técnico-científico e informacional que acarretou em mudanças nas organizações e na dinâmica de desenvolvimento do mercado mundial de tabaco. Assim, a indústria do tabaco passa a ser acompanhada de uma crescente modernização do processo produtivo, visando o aumento da produção e da produtividade, com recorrentes mudanças na sua dinâmica de relações sociais e econômicas e na sua organização espacial (Santos, 2000 e Elias, 2003).

A introdução de soluções como Internet das Coisas, automação e análise de dados na indústria do tabaco podem aumentar a eficiência, a qualidade e sustentabilidade de sua produção. Ao alavancar a Indústria 4.0, a indústria do tabaco pode buscar inovações e melhorias na indústria tradicional que atendam às demandas do mercado e aos requisitos regulatórios.

Segundo Cavalcanti e Nogueira (2017), a Indústria 4.0 pode ser definida pela implantação de procedimentos que aplicam máquinas controladas por entendimento tecnológico, como robótica colaborativa. Os autores também salientam a discordância dessa era em relação à primeira, segunda e terceira revolução industrial, comparando-a com uma revolução digital que veio para atualizar os procedimentos das organizações (CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2017), conforme a Figura 1 que resume as revoluções industriais.

Figura 1- Revoluções Industriais.



Fonte: Santos, 2018.

A indústria 4.0 fundamenta-se em tecnologias como a Internet das Coisas e equipamentos inteligentes capazes de construir sistemas com maior capacidade de autogestão e que possibilita maior customização dos produtos sem perder as vantagens da produção em massa. A conexão através da Internet das Coisas torna possível a troca e obtenção de dados em tempo real para que sejam disparadas ações autônomas durante o processo (KAGERMANN, WAHLSTER, HELBIG, 2013, LASI *et al.*, 2014).

Diante desse funcionamento, não é de se estranhar que grandes empresas, uma vez inseridas nesse contexto, tenham procurado aplicar o advento da tecnologia a seu favor. O domínio da informação disponível é uma fonte de poder, porque autoriza observar os motivos do passado, compreender o presente e, sobretudo, antecipar o futuro. Para adquirir uma visão geral mais precisa da produção, processos e estoques, surgiram, portanto, interações entre a gestão empresarial e os sistemas de dados. Com isso, os procedimentos organizacionais tornam-se cada vez mais eficazes, autônomos e personalizáveis.

Desde o início dos anos 2000, a preocupação da indústria tabagista passou a ser diminuir custos e otimizar processos. Atualmente, altos níveis de produtividade foram atingidos graças a metodologias de gestão criadas nesse tempo.

1.1 Objetivo

Tendo em vista o discutido, o objetivo deste trabalho é avaliar a assertividade da etapa de secagem do tabaco a partir da utilização de uma inteligência artificial que controla a temperatura do secador a partir de dados da linha produtiva coletados em tempo real.

1.2 Justificativa

Na quarta revolução industrial, ou indústria 4.0, as máquinas se tornam cada vez mais capazes de assumir tarefas e tomar decisões, alterando as formas de produção (PRADO e OLINISKI, 2019).

Segundo a Firjan (2016), grande parte da indústria brasileira está entre a segunda e terceira revolução industrial, entre linhas de montagem e automação, e o setor que mais se adianta em relação à indústria 4.0 é o automotivo. A aplicação da digitalização trazida pela indústria 4.0 pode levar ao aumento da competitividade da indústria brasileira a nível mundial, potencializando sua economia.

De acordo com a Accenture, estima-se que a aplicação de tecnologias como a Internet das Coisas nas diversas áreas industriais do país poderá gerar ganhos para o PIB brasileiro em cerca de US\$ 39 bilhões até 2035 (PINHEIRO, 2022). Ademais, a McKinsey alega que até 2025 os processos que envolvam a indústria 4.0 poderão alcançar reduções nos custos de manutenção de ferramentas entre 10 e 40% e aumentos na eficiência do trabalho entre 10 e 25% (CNI, 2016). Portanto, a quarta revolução industrial, diferentemente das outras, está sendo estudada enquanto ocorre e, ainda que recente, seu estudo se justifica pelos potenciais benefícios que pode trazer para a indústria, neste caso, para a indústria de processamento de tabaco. Com suas aplicações, espera-se atingir melhorias significativas em termos de redução de custos e maior qualidade do produto.

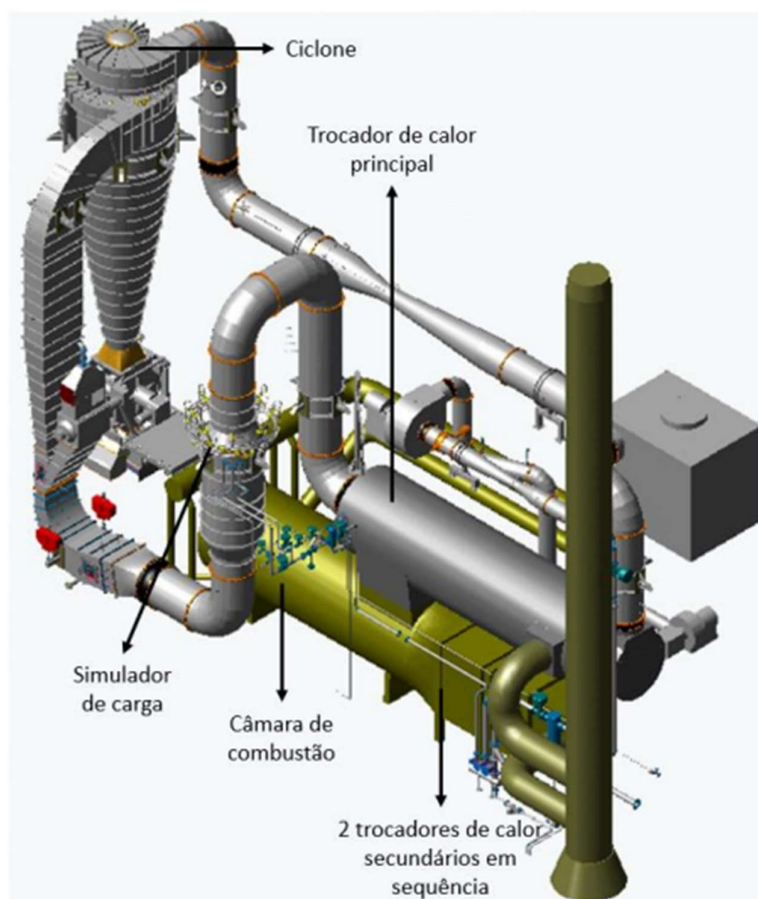
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 O secador de tabaco

O objeto de estudo deste trabalho, o secador, consiste em um grande sistema cuja função principal é manter a umidade do tabaco na saída do equipamento de acordo com a especificação do produto. A secagem do tabaco ocorre por meio da troca de calor entre o tabaco e o fluido de processo durante suas passagens pela coluna de secagem.

As temperaturas dentro do equipamento, conforme Freitas (2018), são mantidas por meio de um sistema térmico composto por três trocadores de calor, uma câmara de combustão e um simulador de carga, conforme pode ser observado na Figura 2.

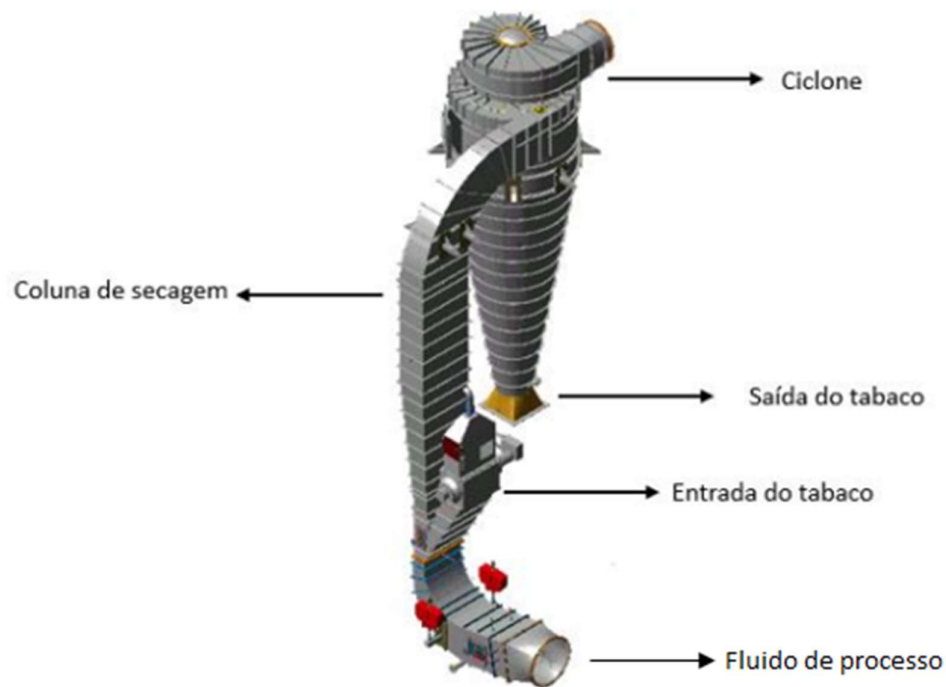
Figura 2 - Secador de tabaco.



Fonte: Freitas (2018)

O fluido de processo, responsável por realizar a secagem do tabaco, é aquecido no trocador de calor principal, onde troca calor com o fluido de queima proveniente da câmara de combustão e, logo em seguida, passa pelo simulador de carga em que recebe uma quantidade de água atomizada com vapor superaquecido. Em sequência, o tabaco se junta ao fluido de processo na região mais baixa da coluna de secagem e é secado durante a subida até chegar no ciclone, onde ocorre a separação dos dois conforme Figura 3.

Figura 3 - Coluna de secagem e ciclone.



Fonte: Adaptada de Freitas (2018).

O tempo de residência do tabaco dentro do secador é de sete segundos e sua umidade na saída deve ser sempre a mesma (FREITAS, 2018). Portanto, a umidade do produto na entrada do secador exerce influência direta na temperatura do fluido de processo, pois a quantidade de água que será removida do tabaco está diretamente relacionada com sua temperatura. Quanto mais baixa a umidade do tabaco na entrada, menor deve ser a temperatura do fluido de processo, pois uma menor quantidade de água deve ser retirada do tabaco no mesmo tempo de residência.

2.2 A indústria 4.0

Na primeira década do século XXI teve-se a chegada do que chamamos de 4ª Revolução Industrial, caracterizada pela digitalização da produção que possibilitou a personalização da produção em massa a partir de sensores mais poderosos e inteligência artificial desencadeando o desenvolvimento de novos modelos de negócios (AIRES, MOREIRA e FREIRE, 2017).

De acordo com Pereira (2018), a introdução das tecnologias da internet na indústria pode ser vista como a grande base tecnológica para a Indústria 4.0, permitindo a comunicação entre diversos dispositivos.

Os progressos no campo dos sistemas de dados foram numerosos desde meados do século passado e, com maior intensidade, nas últimas décadas até o presente. Desde a concepção do telégrafo elétrico, trespassando pelos recursos de correspondência de massa até o surgimento da internet e, mais ultimamente, com o conceito de Indústria 4.0, o ser humano deve coabitar e conduzir com um incremento exponencial da quantidade de informações disponíveis (PORTOGENTE, 2016).

Então, com o tempo, percebemos a utilidade dessa grande quantidade de informações e dos diversos dispositivos que podem ser evoluídos para gerenciá-los. Assim nasceu o conceito de tecnologia da informação, ou seja, totalidade dos recursos não humanos comprometidos ao armazenamento, processos e transmissão de dados e a forma como esses meios são coordenados em um sistema capaz de realizar uma série de atividades.

Para Stock e Seliger (2016), a evolução da Indústria 4.0 está em grande parte na indústria de manufatura. Ou seja, o processo dessa revolução envolve as chamadas manufaturas inteligentes que utilizam a tecnologia para otimizar as práticas e fornecer respostas exatas em semelhança com empresas não inseridas no modelo da Indústria 4.0 (STOCK; SELIGER, 2016).

Segundo a CNI (2017), embora seja um procedimento crescente dentro das associações é possível vislumbrar muitos benefícios em suas personalizações, como o efeito futuro no PIB do Brasil de precariamente 39 bilhões de dólares até o ano de 2030, companhias que procuram se evoluir e se destacar na economia do país devem se adaptar a esses novos procedimentos, visando não apenas o crescimento econômico, mas também colocações de liderança de mercado.

Além do mais, Fraga, Freitas e Sousa (2016) indicam que a exploração da Indústria 4.0 é marcada pela criação de novos esquemas de companhias em mercados onde essa nova revolução poderá mudar diversos setores da atividade econômica nacional. Por meio dessa

alteração, novos empreendedores podem progredir suas operações e aplicar novas tecnologias e procedimentos digitais para conquistar seus mercados, enfatizando recentemente a relação das organizações existentes na adaptação a esses novos procedimentos.

Stock e Seliger (2016) salientam as vantagens da Indústria 4.0, o progresso da competitividade entre os sistemas produtores das companhias o que torna a procura pelo desenvolvimento dos melhores procedimentos digitais entre elas um exercício cada vez mais usual no cenário de mercado.

Para Oliveira e Simões (2016), a exploração das empresas voltadas para a Indústria 4.0 está atrelado ao entendimento e uso de concepções como Internet das Coisas, estruturas ciber físicas e o big data. Autores como Santos (2017) olham para os procedimentos relacionados à segurança de informações, como o uso da nuvem para armazenamento de informações, como um importante mecanismo diante dessa nova revolução.

A previsão de falhas, a autoconfiguração e a adaptação às mudanças são características da Indústria 4.0 e são obtidas a partir da conexão entre sensores, ambientes de trabalho, máquinas e sistemas de TI por meio de protocolos da Internet, o que aumenta a eficiência e a economia do processo (RÜßMANN et al., 2015). Segundo os autores, a Indústria 4.0 suporta 9 pilares tecnológicos. Os pilares tecnológicos são:

1. Big data e análise de dados: a manufatura pode receber grandes quantidades de informações de diversas fontes, como equipamentos de produção, sistemas de gestão da empresa e do cliente, analisados e, portanto, para tomada de decisão em tempo real.
2. Robótica Avançada: Os robôs já são usados na indústria, mas tendem a ser mais autônomos, capazes de trabalhar com segurança com humanos, custam menos e possuem mais habilidades.
3. Simulação: A tomada de decisão pode ser auxiliada por simulações que utilizam informações em tempo real. A otimização de parâmetros pode ser realizada a partir de testes de otimização realizados com modelos virtuais.
4. Integração horizontal e vertical de sistemas: Os sistemas também estão cada vez mais integrados em redes interempresariais, o que permite maior automação.
5. Internet das Coisas Industrial: A interação entre diferentes dispositivos é realizada por meio da Internet das Coisas Industrial, que conecta dispositivos com processamento embarcado e auxilia na obtenção de respostas em tempo real.
6. Segurança cibernética: Maior conectividade requer melhor proteção contra ataques cibernéticos e, assim, incentiva a construção de novas tecnologias para esse fim.
7. Computação em Nuvem: O uso de serviços em nuvem, já utilizados em aplicações de

negócios e análise de dados, aumentará com a Indústria 4.0, melhorando o desempenho das tecnologias envolvidas e auxiliando nas questões de negócios.

8. Manufatura aditiva: A Indústria 4.0 permite a construção descentralizada de produtos personalizados, diminuindo os custos de estoque, com base em tecnologias como impressoras 3D.
9. Realidade aumentada: A realidade aumentada, que suporta uma ampla variedade de sistemas, auxilia na tomada de decisões e no desenvolvimento de procedimentos.

Em suma, pode-se afirmar que os desafios da Indústria 4.0 atravessam diversas áreas, desde equipamentos e investimentos tecnológicos, adequação de arranjos e processos, forma de relacionamento entre empresas e desenvolvimento de novas expertises. Na prática, algumas indústrias se preparam para esses desafios e acabam puxando outras, mas nem todas conseguem acompanhar essas mudanças e, por fim, sobreviver nesse ambiente competitivo (CNI, 2016).

2.3 Inteligência Artificial

A inteligência artificial é uma das ciências mais novas, tendo início após a Segunda Guerra Mundial e que agora cobre um grande número de subcampos, como aprendizado e percepção, até tarefas especiais como xadrez, prova de teoremas em matemática e diagnóstico de doenças. A inteligência artificial sistematiza e automatiza tarefas intelectuais e, portanto, relaciona-se potencialmente com todas as áreas da atividade intelectual humana (RUSSEL; NORVIG, 2004). A inteligência artificial é um ramo da Ciência da Computação que tem como objetivo fazer com que os computadores pensem ou se comportem de forma inteligente. Ela oferece modelos de apoio à decisão e ao controle com base em fatos reais e conhecimentos empíricos e teóricos.

A capacidade de raciocinar de uma inteligência artificial, ou IA, só foi possível graças ao desenvolvimento de diversos algoritmos implantados que, alimentada com conhecimento, torna possível que a máquina possa desenvolver e processar dados, desempenhando assim funcionalidades cognitivas. Sua aplicação pode ser realizada em diversas áreas, o que auxilia na produção e otimização do tempo necessário para realização de determinada atividade (SILVA, 2019).

Diversas técnicas e aplicações estão disponíveis no campo da Inteligência Artificial mas, para o objetivo deste trabalho, serão abordados os conceitos de lógica *Fuzzy* e Redes Neurais.

2.3.1 Lógica Fuzzy

Para que possa ser utilizado o sistema de controle pela lógica fuzzy, o processo deve atender aos seguintes requisitos (Kacprzyk, 1997):

- Não existe um modelo do processo a controlar, por ser muito complexo ou muito custoso o seu desenvolvimento;
- O processo é bem controlado por especialistas humanos;
- Os especialistas humanos conseguem verbalizar as regras que usam nas ações manuais de controle do processo.

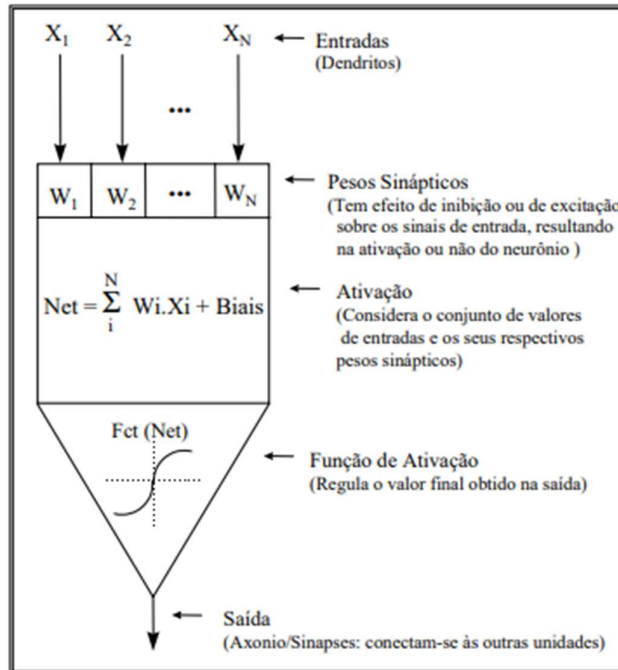
A base de conhecimento consiste em uma base de regras e em uma base de dados que incorpora o conhecimento do processo. O processo é controlado por uma variável de controle e seu gradiente e manipulada por uma variável de controle. A base de regras é construída a partir de depoimentos dos especialistas, que articulam as relações entre as variações na variável de controle e as variações esperadas na variável controlada. O controlador mede os valores e os gradientes das variáveis controladas e de certas variáveis auxiliares, as variáveis de estado, que antecipam o desempenho do controle. De acordo com as funções de pertinência das variáveis e dos gradientes, o controlador calcula um valor *fuzzy*, que será usado na inferência da variação da variável de controle.

2.3.2 Redes Neurais

Segundo Osório e Bittencourt (2000), as Redes Neurais Artificiais são ferramentas de inteligência artificial que possuem a capacidade de se adaptar ao realizar uma certa tarefa, ou comportamento, à partir de um dado conjunto de exemplos. Elas são inspiradas nos estudos da maneira como se organiza e funciona o cérebro humano.

As redes neurais se representam como redes conexionistas através da conexão, chamada de sinapse, entre neurônios que interagem entre si. Seu conhecimento está codificado em uma estrutura de rede onde se destacam as sinapses entre os neurônios que a compõe. Além disso, o conhecimento de uma rede neural se resume a um conjunto de valores numéricos que descrevem as conexões e o comportamento da rede. A Figura 4 representa um neurônio artificial.

Figura 4 - Exemplo de um neurônio artificial



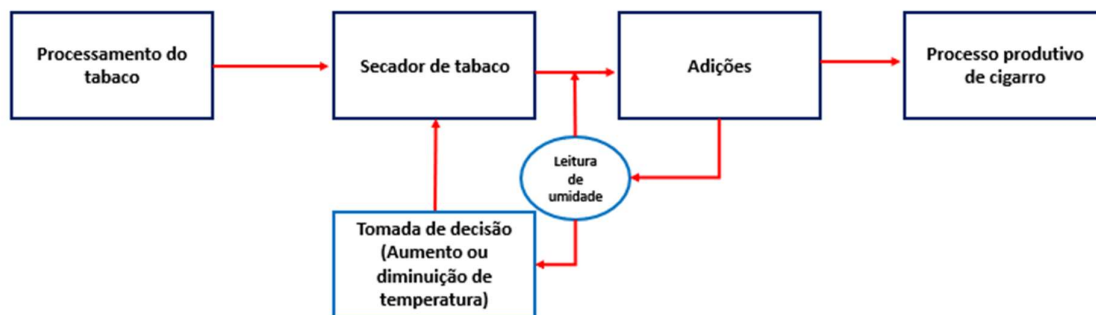
Fonte: Osório e Bittencourt (2000).

3 METODOLOGIA

Como mencionado no Capítulo 1, o objetivo deste trabalho é avaliar a assertividade da etapa de secagem do tabaco a partir de uma inteligência artificial que atua nos controles do sistema. Sendo assim, este trabalho foi dividido em três etapas, sendo que a primeira etapa consistiu do levantamento dos dados do processo para aprendizado da inteligência artificial. A segunda etapa consistiu da implementação da IA e, por fim, análise dos resultados obtidos.

Anteriormente a este trabalho, o processo era controlado manualmente baseado na experiência do operador. Ao final do processo de secagem do tabaco, outros produtos de tabaco, chamados de adições, são adicionados ao tabaco para obter o *blend*. Em cada adição era coletada a umidade do produto e, baseado nisso e em seu fluxo, o operador tomava a ação de aumentar ou abaixar a temperatura do secador. Este controle totalmente manual e operacional tornava o processo mais lento e mais suscetível a erros. A Figura 5 ilustra o fluxograma da forma de controle.

Figura 5 – Fluxograma do controle de temperatura



Fonte: Autor (2023).

A primeira etapa deste trabalho durou cerca de um mês e consistiu da coleta de dados diretamente do PLC. O processamento de tabaco é realizado em bateladas, ou seja, o processo não é contínuo. Cada remessa, ou batelada, possui em média 7500 kg e leva cerca de trinta minutos para ser processada. O sistema realiza a coleta de dados a cada 15 segundos durante o processamento da remessa. Durante esse período de tempo, foram coletados dados de temperatura, umidade e fluxo da linha de processo. Afim de não poluir o banco de dados, todos os dados que apresentaram fluxo de processo igual a zero, representando uma parada da linha

de produção, foram desconsiderados para evitar que a análise sofresse com interferências de fatores externos.

Na segunda etapa deste projeto foi desenvolvida a IA a partir das entradas geradas pelos dados coletados. Como dito anteriormente, a etapa de secagem do tabaco era controlada baseada na experiência do operador, não tendo um modelo que descrevesse o processo. Tendo isso em vista, a técnica que mais se adequa para esse processo é a lógica *Fuzzy*. No entanto, optou-se por desenvolver uma IA do tipo híbrida, que combina as técnicas de modelagem *Fuzzy* e redes neurais por fornecerem um sistema mais robusto. O sistema tipo híbrido, portanto, permite associar a capacidade de aprendizado das redes neurais com a interpretabilidade dos dados mediante conhecimento explícito gerado pela experiência da lógica *fuzzy*.

Uma vez definida a técnica de modelagem, a IA foi desenvolvida no software Eclipse *4DIAC IDE* a partir dos dados que foram fornecidos. O software em questão é uma plataforma de código aberto que suporta o desenvolvimento de soluções de controle industrial. O termo "4diac" significa "*Distributed Industrial Automation and Control Framework*" e foi projetado para fornecer um ambiente de desenvolvimento unificado e abrangente para engenheiros que trabalham com sistemas de automação industrial. O software realiza a leitura dos dados diretamente de um PLC e, então, os dados são armazenados em um banco de dados dentro do próprio software em que a IA realiza suas consultas e aprendizado.

Com base no aprendizado da IA trazido pelas redes neurais, o sistema é capaz de interpretar o fluxo e umidade das adições, o fluxo e umidade do tabaco e prever o comportamento de umidade do *blend* final. Se houverem alterações na temperatura ou umidade de qualquer uma dessas variáveis, a IA interpreta e prevê a umidade do *blend* final e, assim, é capaz de tomar decisões de correção na temperatura do secador de forma muito mais rápida. Por se tratar de uma IA, o sistema é dinâmico e está sempre aprendendo novos dados, como umidade relativa, temperatura, umidade externa e fluxo da linha de processo para que seja capaz de tomar decisões ainda mais assertivas.

Após a implementação da IA no processamento de tabaco, foram coletados e avaliados dados diários do produto final por três meses para avaliar sua eficácia. Para a realização de tal, foi necessário avaliar a influência da etapa de secagem na produção do produto final, que é o cigarro. Este produto possui como uma de suas características principais o seu peso, que é composto por um *blend* de tabaco com determinada umidade de acordo com sua especificação. Basicamente, o peso médio de tabaco em um cigarro é de 630 mg com uma umidade de 13,8%. Com uma umidade abaixo deste valor, é necessário maior concentração de tabaco para preencher o cigarro. A Figura 6 apresenta o fluxograma de como a umidade do tabaco se

relaciona com o peso final do cigarro:

Figura 6 - Fluxograma da relação entre peso do cigarro e umidade



Fonte: Autor (2023).

Para validação dos resultados e eficácia da IA, foram considerados três parâmetros para análise. Foram eles:

- **Rejeição de cigarros na *maker*:** a *maker* possui sensores que detectam cigarros que estejam fora dos limites de especificações de peso e os rejeitam, possuindo um registro da quantidade de cigarros rejeitados com base no total produzido.
- **Extração de rejeitos do classificador gravimétrico:** a *maker* possui um classificador gravimétrico em sua entrada responsável por realizar a separação de todo produto que esteja fora do tamanho da sua especificação. A coleta deste parâmetro foi realizada de forma manual três vezes ao dia através do peso extraído do classificador durante um minuto.
- **Sobrepeso do cigarro:** o cigarro possui seu peso determinado por sua especificação e, a cada vinte minutos foram coletados os dados de peso de um conjunto de dez amostras de cigarro. O sobrepeso é medido pela diferença percentual entre o peso do cigarro medido e o peso em sua especificação.

Durante o período de três meses foram coletados os dados de umidade do tabaco na saída do secador, sobrepeso do cigarro, rejeição de cigarro e extração de rejeitos para avaliar a assertividade da etapa de secagem a partir do controle por uma inteligência artificial.

A Tabela 1 abaixo apresenta o compilado dos resultados obtidos:

Tabela 1- Resultados obtidos

Parâmetros avaliados	Resultados obtidos
Rejeição Maker	-0,01%
Sobrepeso	-0,22%
Extração de rejeitos	-0,03%

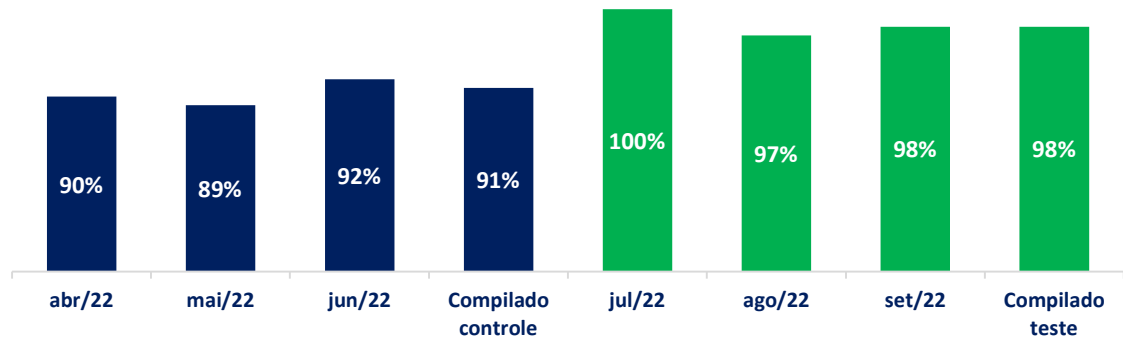
Fonte: Autor (2023).

Os resultados percentuais mostrados na Tabela 1 foram obtidos a partir da comparação entre os valores obtidos e a base de dados de controle. Para o controle foram considerados os resultados disponíveis durante três meses antes da implementação da inteligência artificial. O período de controle foi de abril a junho de 2022.

Portanto, analisando a Tabela 1 percebe-se que houveram reduções em todos os parâmetros observados. No entanto, foi dado foco no parâmetro de sobrepeso por ter apresentado a redução mais significativa.

No capítulo 2 foi mencionado que a umidade de entrada do tabaco no secador exerce influência direta na temperatura do fluido de processo, que é o responsável por realizar a secagem do tabaco. Nesta etapa a inteligência artificial exerce papel fundamental, pois é ela a responsável por realizar o controle automático da temperatura do fluido de processo a partir de sua base de conhecimento e informações adquiridas durante o processamento, garantindo assim a entrega de umidade esperada. O produto final da indústria de tabaco é o cigarro, e este possui sua umidade definida de acordo com suas especificações. Para que seja possível atingir a umidade desejada no cigarro, é preciso que o processamento de tabaco entregue o *blend* com uma umidade um pouco acima, para compensar as perdas que ocorrem durante o processo. Nesse sentido, defini-se como assertividade a entrega de umidade do processo de tabaco para a produção do cigarro no valor exato em que é necessário, considerando as variações e perdas do processo. A Figura 7 apresenta os resultados de assertividade na entrega de umidade ao final do secador comparada ao período de controle.

Figura 7 - Comparativo da assertividade de entrega de umidade



Fonte: Autor (2023).

Como discutido na sessão anterior, a umidade do *blend* exerce influência direta na concentração de tabaco no cigarro, uma vez que se a retirada de umidade do *blend* for maior que a especificação, uma maior concentração de tabaco será necessária para atingir o peso do cigarro, gerando um custo maior para o processo.

A partir do ganho na entrega de umidade obtido a partir da implementação de uma IA, foi possível reduzir a quantidade de tabaco necessária na produção do cigarro. Com base nos dados de sobrepeso antes e após a implementação do projeto, foi verificada uma redução de consumo de tabaco de aproximadamente 40 toneladas anualmente. Considerando o custo médio de tabaco em 2022 de R\$ 12,78/kg, estima-se um benefício financeiro de R\$ 511,200.00/ano.

5 CONCLUSÃO

Este projeto consistiu da avaliação da assertividade do uso de uma inteligência artificial na etapa de secagem do tabaco. A partir da implementação de uma IA neste processo foi possível atingir uma economia de aproximadamente R\$ 511,200.00/ano, isto se deve à rapidez e assertividade com que a inteligência artificial realiza a tomada de decisões. Por se tratar de um sistema controlado por uma IA do tipo rede neural, ela apresenta a capacidade de aprendizado a partir dos dados lidos, sendo capaz de realizar a leitura das variáveis do processo e externas como, por exemplo, a umidade relativa do ambiente que também interfere na etapa de secagem, tornando, assim, o processo mais robusto e eficaz.

Portanto, podemos concluir com este trabalho que as inovações trazidas pela Indústria 4.0, ainda que recentes, são promissoras e capazes de tornar processos mais eficientes, rápidos e econômicos, aumentando a produtividade e competitividade das indústrias.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES, R. W. do A.; MOREIRA, F. K.; FREIRE, P. de S. **INDÚSTRIA 4.0: COMPETÊNCIAS REQUERIDAS AOS PROFISSIONAIS DA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL**. Anais do Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação–ciki, [S.l.], v.1, n.1, 2017. Disponível em: <<https://proceeding.ciki.ufsc.br/index.php/ciki/article/view/314>>. Acesso em: 16 jan. 2023.

CAVALCANTI, L. L.; NOGUEIRA, M. S. **Futurismo, Inovação e Logística 4.0: desafios e oportunidades**. VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 2017.

CNI. **Confederação Nacional da Indústria, 2016**. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/>Acesso em: 14 jan. 2023.

FIRJAN. **Indústria 4.0: Panorama da Inovação**. 2016.

FREITAS, M. L. **ESTUDO EXPERIMENTAL DE UM SECADOR DE TABACO PARA REDUÇÃO DE CONSUMO DE GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA 2018. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/23989/3/EstudoExperimentalSecador.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2023.

FRAGA, M. A. F.; FREITAS, M. M. B. C.; SOUZA, G. P. L. **Logística 4.0: conceitos e aplicabilidade – uma pesquisa-ação em uma empresa de tecnologia para o mercado automobilístico**. Caderno PAIC - Programa de Apoio à Iniciação Científica. FAE - Centro Universitário, São Paulo, v. 17, n. 1, 2016. Disponível em: <https://cadernopaic.fae.edu/cadernopaic/article/view/214>. Acesso em: 20 jan. 2023.

KACPRZYK, J. **Multistage fuzzy control**. Chichester, UK: John Wiley Sons, 1997.

NOVA, S.; LIMA DA SILVEIRA, R.; DORNELLES, M. **MERCADO MUNDIAL DE TABACO, CONCENTRAÇÃO DE CAPITAL E ORGANIZAÇÃO ESPACIAL. NOTAS INTRODUTÓRIAS PARA UMA GEOGRAFIA DO TABACO**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://actbr.org.br/uploads/arquivo/813_mercado_mundial.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2023.

OLINISKI, Dominique Côrtes Lopes; PRADO, Guilherme Quelim Baron do. **Implicações da automação no desenvolvimento sustentável: estudo de caso em uma indústria do setor alimentício**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

OLIVEIRA, T. F.; SIMÕES, W.L. **A indústria 4.0 e a produção no contexto dos estudantes da engenharia**. Simpósio de Engenharia de Produção, 2016.

OSÓRIO, F. S.; BITTENCOURT, J. **Sistemas inteligentes baseados em redes neurais artificiais aplicados ao processamento de imagens**. In: I Workshop de inteligência artificial. sn, 2000.

PEREIRA, A. **Indústria 4.0: Conceitos e perspectivas para o Brasil**. Revista da Universidade Vale do Rio Verde | v. 16 | n. 1 | jan./jul. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/download/4938/pdf_808>. Acesso em: 20 jan. 2023.

PINHEIRO, Guilherme do Nascimento. "**INDÚSTRIA 4.0: Um estudo acerca da Quarta Revolução Industrial, desafios e impactos para a implementação do sistema no Brasil**." 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Fluminense.

RÜßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. **Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries**. Boston Consulting Group, v. 9, 2015.

RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Campos, 2004.

SANTOS, B. P. et al. **INDÚSTRIA 4.0: DESAFIOS E OPORTUNIDADES**. Revista Produção e Desenvolvimento, v. 4, n. 1, p. 111–124, 31 mar. 2018. Disponível em: <<https://revistas.cefetrj.br/index.php/producaoedesenvolvimento/article/view/e316/193>>. Acesso em: 21 jan. 2023.

SANTOS, R. P. **Indústria 4.0 e logística 4.0: evolução tecnológica**. 6a Jornada Científica e Tecnológica da FATEC de Botucatu. São Paulo, 2017.

SILVA, J. A. S.; MAIRINK, C. H. P. **Inteligência artificial: aliada ou inimiga**. LIBERTAS: Rev. Ciênc. Soc. Apl., Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 64-85, ago./dez. 2019.

SILVEIRA, R. L. L. **Mercado mundial de tabaco, concentração de capital e organização Espacial. Notas introdutórias para uma geografia do tabaco**. Disponível em: <https://actbr.org.br/uploads/arquivo/813_mercado_mundial.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2023.

SELLITTO, M. A. **Inteligência Artificial: uma aplicação em uma indústria de processo contínuo**. Gestão & Produção, v. 9, n. 3, p. 363–376, dez. 2002.

STOCK, T.; SELIGER, G. **Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0**. Procedia Cirp, v. 40, p. 536-541, 2016.