



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

MATHEUS YANKO DA LUZ AIRES

**AUTOMAÇÃO ALIADA AO CONTROLE DA PRODUÇÃO NA
INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA: UM ESTUDO DE CASO SOBRE
INTERNET DAS COISAS APLICADA À PRODUÇÃO DE CACHAÇA**

**SUMÉ - PB
2021**

MATHEUS YANKO DA LUZ AIRES

**AUTOMAÇÃO ALIADA AO CONTROLE DA PRODUÇÃO NA
INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA: UM ESTUDO DE CASO SOBRE
INTERNET DAS COISAS APLICADA À PRODUÇÃO DE CACHAÇA**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Professor Dr. Daniel Augusto de Moura Pereira.

**SUMÉ - PB
2021**



A298a Aires, Matheus Yanko da Luz.

Automação aliada ao controle da produção na indústria sulcralcooleira: um estudo de caso sobre internet das coisas aplicada à produção de cachaça. / Matheus Yanko da Luz Aires. - 2021.

44 f.

Orientador: Professor Dr. Daniel Augusto de Moura Pereira.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Produção.

1. Automação industrial. 2. Controle da produção. 3. Indústria sulcralcooleira. 4. Internet das coisas. 5. Cachaça – produção. I. Pereira, Daniel Augusto de Moura. II. Título.

CDU: 681.2(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

MATHEUS YANKO DA LUZ AIRES

**AUTOMAÇÃO ALIADA AO CONTROLE DA PRODUÇÃO NA
INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA: UM ESTUDO DE CASO SOBRE
INTERNET DAS COISAS APLICADA À PRODUÇÃO DE CACHAÇA.**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Produção do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

BANCA EXAMINADORA:

**Professor Dr. Daniel Augusto de Moura Pereira.
Orientador - UAEP/CDSA/UFCG**

**Professor Dr. Romulo Augusto Ventura.
Examinador I - UATEC/CDSA/UFCG**

**Professora Dra. Cecir Barbosa de Almeida Farias.
Examinadora II - UAEP/CDSA/UFCG**

Trabalho aprovado em: 27 de maio de 2021.

SUMÉ - PB

Dedico este trabalho à memória do meu avô,
Moisés Vicente Aires, que muito se alegrou
com o meu ingresso na graduação e hoje
acompanha este desfecho de um lugar melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter ocasionado e possibilitado todos os acontecimentos que me trouxeram até aqui, além de me dar forças para seguir em frente nas minhas batalhas.

Aos meus pais, José Milton Bezerra Aires e Teresinha de Jesus da Luz Aires, e minha irmã, Taynara Hellen da Luz Aires, bases da minha vida e exemplos de pessoas, em quem me inspiro a dar o meu melhor, e por todo amor e apoio que sempre me deram, até mesmo me colocando acima das próprias necessidades.

À minha namorada, Natália Carvalho Evangelista, por sempre acreditar nas minhas capacidades, me incentivar e me apoiar em todos os meus projetos.

A Agar Sousa, vizinha e proprietária da casa em que residi durante meus anos de morada na cidade de Sumé, que me acolheu como uma mãe e me auxiliou em diversos momentos.

Aos meus professores, Dr. Daniel Augusto de Moura Pereira, que me orientou com atenção, paciência e preocupação acerca da realização deste trabalho, e Dr. Romulo Augusto Ventura, com quem adquiri novos e extensos conhecimentos. Ambos contribuindo extremamente para minha identificação com o curso.

Aos meus amigos que me acompanharam nessa jornada, em especial a Danillo Marinho, Jordan Matheus e Vinícius Lins, que estavam sempre presentes, me incentivando e apoiando.

“A ciência de hoje é a tecnologia de amanhã.”
(Edward Teller)

RESUMO

Com base na necessidade de melhoria contínua, exigida pelo mercado às empresas para que se mantenham competitivas, torna-se indispensável. O autoconhecimento, identificando, por exemplo, perdas em seu processo produtivo e oportunidades de otimização nos seus métodos de gestão. Com isso em vista, e tendo uma empresa de produção de cachaça como alvo, avaliaram-se formas de aprimoramento de um sistema de controle da produção, através da automação do método de medição do volume de produção. Este estudo tem por objetivo discorrer sobre a identificação do problema presente no processo produtivo, justificar a mudança realizada e a escolha dos componentes para tal, descrever a aplicação destes componentes e avaliar os resultados obtidos. Apresenta-se, então, um estudo de caso descritivo, quali-quantitativo e hipotético-dedutivo. Diante disso, observou-se no novo sistema uma precisão melhor definida e tolerável, identificando valores, referentes ao volume de produção, divergentes do método antigo, o que incentiva um replanejamento da produção. A mudança realizada gerou resultados satisfatórios, trazendo maior praticidade e confiabilidade ao controle da produção e abrindo possibilidades para futuras melhorias.

Palavras-chave: automação; precisão; controle da produção; internet das coisas.

ABSTRACT

Based on the need for continuous improvement, charged by the market to companies in order to remain competitive, self-knowledge becomes indispensable to them, identifying, for example, losses in their production process and opportunities for optimization in their management methods. With that in mind, and with a cachaça production company as a target, we sought ways to improve a production control system, through the automation of the production volume measurement method. This study aims to discuss the identification of the problem present in the production process, justify the change made and the choice of components for this, describe the application of these components and evaluate the results obtained. A descriptive, exploratory, quali-quantitative and hypothetical-deductive case study is then carried out. Therefore, a better defined and tolerable precision was observed in the new system, identifying values, referring to the volume of production, which differ from the old method, which encourages a re-planning of production. The change made generated satisfactory results, bringing greater practicality and reliability to the production control and opening possibilities for future improvements.

Keywords: automation; precision; production control; internet of things.

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 -	Nove pilares da Indústria 4.0.....	14
Fluxograma 2 -	Fluxo metodológico.....	23
Fluxograma 3 -	Processo de produção da cachaça.....	29
Fluxograma 4 -	Exibição do painel de visualização e controle do sistema.....	35

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1	Moenda utilizada no processo de moagem.....	24
Fotografia 2	Área de fermentação.....	25
Fotografia 3	Área de destilação, com destaque em vermelho, para o tanque que recebe o material recém destilado.....	26
Fotografia 4	Estoque intermediário que antecede a etapa de envase.....	27
Fotografia 5	Equipamentos para envase.....	28
Fotografia 6	Sensor de fluxo de água YF-S201.....	31
Fotografia 7	Arduino Nano.....	32
Fotografia 8	Exemplo de Kit de controle de nível e vazão.....	33
Fotografia 9	Placa NodeMCU ESP8266 ESP-12F.....	34
Fotografia 10	Exemplo de sistema de medição de vazão instalado.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	JUSTIFICATIVA.....	12
1.2	OBJETIVOS.....	12
1.2.1	Objetivo geral.....	12
1.2.2	Objetivos específicos.....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1	INDÚSTRIA 4.0.....	13
2.1.1	Automação.....	15
2.2.2	Internet das Coisas.....	16
2.1.3	Indústria 4.0 no setor sucroalcooleiro.....	18
2.2	PRECISÃO E ACURÁCIA.....	20
3	METODOLOGIA.....	22
4	RESULTADOS.....	24
4.1	ANÁLISE DO PROCESSO.....	24
4.2	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	29
4.3	MÉTODO IMPLANTADO.....	30
4.4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	36
5	CONCLUSÃO.....	39
	REFERÊNCIAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

A sobrevivência das instituições, enquanto dependentes de fins lucrativos, é um verdadeiro desafio na sociedade atual. Em 2018, de acordo com o estudo “Demografia das Empresas e Estatísticas de Empreendedorismo”, enquanto 697,1 mil começaram um negócio, 762,9 mil companhias encerraram suas atividades naquele ano, gerando o saldo de menos 65,9 mil empresas. (IBGE, 2020)

Diante desse cenário, a busca pelo aumento da eficiência operacional é uma das alternativas que as empresas têm para se manterem ativas no mercado competitivo, o que pode ser alcançado através de métodos de melhoria.

Segundo o Índice de Automação do Mercado Brasileiro, estudo realizado pela Associação Brasileira de Automação (GS1 Brasil), com apoio da empresa de pesquisas GfK, a automação tem-se mostrado um poderoso método de aprimoramento dos sistemas produtivos, estando ligada, para o mercado, a todos os equipamentos que tornam os processos mais eficientes, incluindo sistemas de gestão de ponto de vendas e de estoque. Além disso, o estudo constatou que o nível de automação nas empresas, no Brasil, aumentou 4% de 2018 para 2019. (GS1-BR; GfK, 2019)

Tais aspectos motivaram uma empresa de produção de cachaça a realizar esforços que possibilitaram a otimização do sistema de produção e gestão, tornando-se cada vez mais competitiva. Através da observação direta, oportunidades de melhoria foram identificadas, criando um ambiente ideal para a realização deste estudo.

O conhecimento prévio sobre diversos equipamentos eletrônicos e suas determinadas opções de utilização, assim como o de técnicas de automação que possibilitam a aplicação destes, permitiu a identificação de problemas que pudessem ser solucionados através do uso dos mesmos, incluindo a utilização da Internet das Coisas. Além destes domínios, foi preciso realizar-se uma revisão de literatura para um melhor entendimento de assuntos chave para este estudo, como a precisão de medidas.

Por fim, o estudo expõe os resultados da implementação do novo sistema de medição e seu impacto na gestão da produção exercida pela empresa, assim como demonstra formas de utilização da automação e algumas ferramentas derivadas dela, possibilitando a disseminação destas ferramentas para uso por outras companhias, além de ensejar novos estudos que enriquecerão esta área do conhecimento, variando a utilização destes métodos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Verifica-se uma baixa adoção, por parte de pequenas empresas da região, de tecnologias digitais em seus processos produtivos. Pretende-se, através dela, levar ao conhecimento dos proprietários das empresas as possibilidades e vantagens da aplicação destas tecnologias. As tecnologias e ferramentas utilizadas foram escolhidas com base na experiência dos idealizadores desse estudo, além da sua praticidade de utilização e baixo custo, tendo em vista que, por exemplo, o controlador lógico programável utilizado neste projeto custa cerca de 20 vezes menos que o normalmente utilizado para a automação industrial, além de disponibilizar de softwares gratuitos para a sua programação e uma vasta gama de informações, sobre suas utilizações, na internet.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo geral descrever o processo de automação do sistema de medição do volume de cachaça produzida diariamente na empresa de forma que essa informação pudesse ser obtida em primeira mão pela gerência.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar estudo sobre o processo produtivo padrão da cachaça;
- Realizar uma análise sobre os métodos de produção e controle utilizados pela empresa;
- Descrever como se deu a identificação do problema e justificar a mudança optada, assim como os componentes utilizados;
- Expor o processo de automatização do sistema alvo da modificação;
- Avaliar os resultados obtidos, assim como possíveis melhorias.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INDÚSTRIA 4.0

A quarta revolução industrial, tema amplamente debatido atualmente, tem-se diferenciado de suas anteriores de forma altamente notável. Segundo Schwab (2016), as demais revoluções foram marcadas pelas invenções, ou descobertas, de elementos chave: a primeira foi possibilitada através da construção da máquina a vapor; a segunda, pelo advento da eletricidade; e a terceira, pela computação.

Para McAfee e Brynjolfsson (2015), a quarta revolução não se caracteriza por uma tecnologia ou capacitação cognitiva específica. Desde a virada do século, a frequência do surgimento de novas tecnologias, assim como o nível de capacitação delas, são inéditas, além de possuírem um ritmo de crescimento exponencial, diferente do observado no histórico das outras revoluções.

O mundo se encontra em um ponto de inflexão, onde as tecnologias digitais encontram-se em força total, manifestando-se por meio da automação e “outras coisas sem precedentes.” (MCAFEE; BRYNJOLFSSON, 2015).

“Além da velocidade e da amplitude, a quarta revolução industrial é única por causa da crescente harmonização e integração de muitas descobertas e disciplinas diferentes.” (SCHWAB, 2016, p. 21). Debatida desde 2011 na Alemanha através do termo “Indústria 4.0”, foram atreladas, ao escopo dessa revolução, diversas áreas que vão além de sistemas ou máquinas inteligentes, abrangendo desde o sequenciamento genético até a nanotecnologia, das energias renováveis à computação quântica. A fusão dessas tecnologias e a interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos é o que torna esta revolução fundamentalmente diferente de suas antecessoras, como é defendido por Schwab (2016).

Para Brettel et al. (2014), a junção desses domínios possibilita a existência dos sistemas físico-cibernéticos, compostos por amplas redes de comunicação que interligam dispositivos, máquinas, módulos de produção e produtos. Esses sistemas, por sua vez, se conectam à rede mundial de computadores, permitindo a coleta e troca de dados entre eles. Este conceito constitui um dos nove pilares da Indústria 4.0, mostrados na Fluxograma 1: a Internet das Coisas (*IoT*) ou Internet Industrial.

Fluxograma 1 - Nove pilares da Indústria 4.0.



Fonte: (BOSTON CONSULTING GROUP, n/d, apud SPRICIGO, 2018).

A automação está atrelada ao *IoT* quando se entende que este processo foi idealizado buscando-se a independência dos dispositivos e máquinas, quanto à ação humana, no ato de compartilhar, processar e armazenar os dados por eles gerados. (WEYER et al., 2015).

Estas e outras tecnologias emergentes tornam possível o desenvolvimento de diversas oportunidades traduzidas em novos produtos ou serviços. (TAMÁS; ILLÉS; DOBOS, 2016).

Com o surgimento dessas tecnologias, inicia-se uma nova corrida de adequação e capacitação por parte das empresas, onde o único padrão buscado é a inovação ou melhoria das características já apresentadas pelas concorrentes.

Graças à Indústria 4.0, o mercado competitivo exige às empresas um patamar cada vez mais elevado, levando a atingir-se um alto nível de eficiência operacional, produtividade e automação dos sistemas produtivos. (ALMEIDA; CAVALCANTE; FETTERMANN, 2017)

De tal forma, considera-se indispensável o conhecimento e adoção de várias destas tecnologias pelas instituições, sejam elas focadas em manufatura ou serviços, que desejem se sustentar de forma competitiva no mercado, o que prolongará a manutenção das suas atividades.

2.1.1 Automação

O termo “automação” foi, inicialmente, cunhado no contexto da fabricação industrial, por um gerente de engenharia da Ford em 1946, para descrever a variedade de dispositivos para transferências automáticas que foram instalados nas linhas de produção da empresa (GROOVER, 2016).

O conceito de automação, enquanto inovação tecnológica, adotada pela indústria para otimização da produção, antecede até mesmo a terceira revolução industrial, mostrando que ela independe dos itens chave da chamada era digital, como a computação e a Internet.

A automação se trata de uma tecnologia que age aplicando conceitos de mecânica, eletrônica e/ou sistemas baseados em computadores, visando executar ou auxiliar algumas funções, melhorando sua eficiência e segurança na operação. (GROOVER, 2016)

Alguns postos de trabalho, por exemplo, apresentam nível de insalubridade muito elevado para serem ocupados por pessoas. Nesta situação, tal função será melhor desempenhada por uma máquina e, o mais importante, ela dispensará a necessidade de expor o indivíduo a tal risco.

O aumento da eficiência se estende aos equipamentos, o que ocasiona uma redução de custos e, conseqüentemente, torna a empresa mais competitiva. (BORRACHA, 2012)

O custo de operação das máquinas relativo à sua taxa de produção, normalmente, é significativamente menor que o da força de trabalho humana, o que proporciona uma maior eficiência para o processo produtivo.

A microeletrônica também foi marcante para a evolução da automação. Do celular ao computador, do automóvel à lavadora de roupas, praticamente qualquer equipamento pode conter algum circuito eletrônico integrado. (LUDWIG et al., 2014)

A invenção dos microcontroladores, por exemplo, possibilitou o armazenamento e execução de seqüências de instruções de forma autônoma, com base, ou não, na leitura das condições de um determinado sistema.

Independente do grau de automatização, o objetivo final é comum, que a intervenção do operador seja a mínima possível, da coleta dos dados até a representação final das informações levantadas. (VEIGA, 2006)

Através de tecnologias de sensoriamento, combinadas a sistemas eletromecânicos, muitas máquinas conseguem dispensar, quase que completamente, a ação humana da realização de suas atividades.

Ao substituir o ser humano por robôs e sensores, esse recurso proporciona uma maior precisão e confiabilidade ao processo, reduzindo o risco de uma falha humana. (GUTIERREZ; PAN, 2008)

Em geral, as máquinas possuem uma alta capacidade de padronização do seu trabalho, o que é ideal para tarefas que exigem uma baixa variação de parâmetros de execução e resultados. Além disso, elas não estão sujeitas a problemas como a fadiga ou desvio de atenção, que podem ocasionar falhas ao produto e aumentar o risco de acidentes de trabalho.

De acordo com Silva et al. (2018), em contrapartida aos benefícios, essa mudança faz com que os profissionais necessitem cada vez mais se especializar, buscando competências para o desenvolvimento de suas atividades.

A automação dos postos de trabalho também traz consigo algumas consequências de impacto social, as quais dividem opiniões. A aplicação das máquinas se concentra em postos de trabalho com baixa exigência de especialização técnica, como postos de serviço braçal, e, em consequência de sua utilização, a automação faz crescer o número de funções com maior necessidade deste recurso intelectual.

Logo, em países onde o grau de instrução da classe trabalhadora não acompanhe o ritmo da automatização das indústrias, estas tecnologias serão capazes de influenciar negativamente as estatísticas de desemprego.

2.1.2 Internet das Coisas

Em uma entrevista para a revista Inovação em Pauta, o pesquisador britânico Kevin Ashton atentou para o seguinte fato:

Hoje em dia, os computadores – e, por conseguinte, a internet – são quase que completamente dependentes dos seres humanos para obter informação. Quase a totalidade dos dados disponíveis na Internet foram, primeiramente, coletados e criados por pessoas – seja digitando um teclado, pressionando um botão de gravação, tirando uma foto digital ou escaneando um código de barras. Os diagramas convencionais que ilustram a Internet incluem computadores, servidores, roteadores e outras máquinas, mas omitem os mais numerosos roteadores de todos – pessoas. O problema é que as pessoas têm tempo, atenção e precisão limitados. Contudo, se tivéssemos computadores que conhecessem tudo o que existe para se saber sobre as coisas reais - usando dados que eles mesmos agrupem, sem nossa ajuda – nós poderíamos, por exemplo, acompanhar tudo, o que reduziria imensamente o desperdício, perdas e custos. (ASHTON, 2014)

Kevin Ashton é considerado o primeiro especialista a usar o termo “Internet das Coisas” (IoT, na sigla em inglês), em 1999. Em suma, o conceito inicial idealizado pelo pesquisador ao criar o termo era o da existência de um sistema que permitisse aos computadores a captação, processamento e compartilhamento de dados, entre si, sem a necessidade da intervenção humana.

Na definição do CERP (*Cluster of European Research Projects on the Internet of Things*), a Internet das Coisas é uma infraestrutura de rede global dinâmica, baseada em protocolos de comunicação onde coisas físicas e virtuais têm identidades, atributos físicos e personalidades virtuais, utilizando interfaces inteligentes e integradas às redes telemáticas. (SUNDMAEKER et al., 2010)

Para Valente (2011), o IoT trata-se de um novo paradigma que visa mediar o espaço existente entre o mundo real e o digital, através da percepção de mundo, descrito pelo estado das Coisas, em aplicações de software.

Dentre as possibilidades de aplicação da Internet das coisas temos o desenvolvimento de serviços para coleta e trânsito dos dados existentes no meio ambiente. Por exemplo, em serviços públicos temos aplicação para as áreas de transporte, saúde, educação e segurança, como também em ambientes privados: domicílio e escritórios, permitindo, inclusive, o emprego nos diversos domínios econômicos e sociais, tais como: indústria, comércio e defesa. (KHAN et al., 2012)

Aquino (2015) destaca que os dispositivos que são e serão conectados na IoT possuem como base o conceito de Rede de Sensores sem Fio (RSSF), que é um conjunto de periféricos e dispositivos que se transformam em um grande sistema distribuído cooperativamente.

Nesse contexto, a Internet tradicional evoluiu para algo sensorial, na qual elementos como iluminação, vibração, pressão, temperatura, umidade etc., passaram a trafegar pela rede mundial de computadores por meio de dispositivos inteligentes e aplicações revolucionárias. (EVANS, 2011)

Com isso, surge uma nova rede de conhecimento, que envolve a obtenção de dados e informações por meio de objetos e aplicativos de automatização. (PATRICIO et al., 2018)

Como abordado por Evans (2011), estes aplicativos também são utilizados para o monitoramento e controle, com potencial de melhorar consideravelmente a forma como as pessoas se comunicam, trabalham e vivem, pois trata da interligação de redes heterogêneas.

Para facilitar o entendimento sobre a infraestrutura que compõe o IoT, Jesus Junior e Moreno (2015) dividiram-na sob três perspectivas: rede de sensores, *middleware* e computação em nuvem.

Uma rede de sensores sem fio é o emprego de uma elevada quantidade de sensores geograficamente dispersos num ambiente físico, sem o apoio de qualquer infraestrutura física estabilizada. Pressupõe-se que os nós de sensores serão individualmente capazes de monitorar o meio, coletar o dado para, quando possível, processá-lo localmente e, em seguida, enviá-lo a um ou mais pontos de coleta por meio da comunicação sem fio. (DWIVEDI; VYAS, 2011)

A *middleware*, por sua vez, é a camada que integra os dispositivos inteligentes com a nuvem, demandando esforços de pesquisa e desenvolvimento. Uma das soluções abertas (*open source*), implantadas em nuvem, para tal função é a *SicsthSense*, por exemplo.

O princípio básico da proposta da *SicsthSense* é a criação de repositório de recursos Web no qual usuários podem, periódica e arbitrariamente, consultar os dados coletados a partir dos dispositivos, estratificados em forma de fluxos (*streams*), acessíveis por uma URL e um *website*. A proposta diz também que os dados serão historicamente mantidos para fins de consulta, por exemplo, intencionando subsidiar pesquisas *Big Data*, como também poderá ser concedido e revogado o acesso conforme o interesse do usuário/proprietário. (MCNAMARA et al., 2014)

Por fim, a computação em nuvem é uma ferramenta que possibilita acesso, de modo conveniente e sob demanda, a um conjunto de recursos computacionais configuráveis (p. ex., redes, servidores, armazenamento, aplicações e serviços) que podem ser rapidamente obtidos e liberados com mínimo esforço gerencial ou interação com o provedor de serviços. (RUSCHEL; ZANOTTO; MOTA, 2010)

2.1.3 Indústria 4.0 no setor sucroalcooleiro

A implantação de tecnologias da Indústria 4.0 pode ser percebida em diversos setores da economia no Brasil, em especial no bioenergético. Segundo Marcio Venturelli, especialista em Digitalização e Indústria 4.0 e coordenador técnico do SENAI-SP:

O Setor Sucoenergético também evoluiu no quesito Automação Industrial, no início da década de 80 os painéis de controle pneumático foram substituídos por eletrônicos, depois por redes industriais na década de 90 e no início do século XXI, vemos as Usinas com Centro de Operações comandando toda a planta, a partir de tecnologias de Controladores Programáveis, todos conectados em redes de informação e controle. (VENTURELLI, 2015, p. 1)

Para Venturelli (2015), essas tecnologias criam um ambiente de informações dinâmicas, onde, por exemplo, dados meteorológicos, que influenciam o campo e a moagem, podem ser

recebidos em tempo real, permitindo uma tomada de decisões sobre colheita e produção; o estoque de insumos está conectado com o consumo; e a operação com os fornecedores de produtos e serviços, permitindo a entrega e análise do processo em tempo real, eliminando desperdícios de toda ordem.

Estas redes de conexão dentro das usinas, ou mesmo as redes que as conectam com o ambiente externo, proporcionam a transição de informações que permitem uma maior sincronização e sinergia entre o fornecimento e a demanda, criando oportunidades de se seguir mais fielmente conceitos de redução de perdas, como o *Just in time*.

A ampla adoção das tecnologias digitais por parte da indústria do setor bioenergético ficou popularmente conhecida por Usina 4.0. Uma das razões para o interesse dos gestores desse setor nessas tecnologias deve-se a estudos e levantamentos que indicam um potencial expressivo de melhora de eficiência, principalmente em áreas como a manutenção, consumo de energia e operacional. (REIS, 2020)

A manutenção preditiva, por exemplo, depende do constante monitoramento de máquinas e equipamentos, o qual é possibilitado e otimizado pelas tecnologias digitais.

Segundo Josias Messias (2020), presidente da ProCana Brasil, as tecnologias da Indústria 4.0 adotadas pelo setor sucroalcooleiro costumam ser aplicadas à gestão da produção, sendo elas, principalmente, Internet das Coisas, Inteligência Artificial e softwares de gestão, como o PDCA online.

Os menores níveis de intervenção e custo exigidos na implantação de um sistema de monitoramento ou ferramentas de gestão da qualidade, se comparados à uma automação completa dos meios de produção, fazem com que estes sejam priorizados no momento da adoção de novas tecnologias.

Nos conceitos da Usina 4.0 aplicadas ao campo, ainda que timidamente, costuma-se observar o uso de dados de geoprocessamento, estações meteorológicas e históricos de produção processados através de Big Data. Outras tecnologias, como o levantamento de dados através de drones ou AGV (Veículo Guiado Automaticamente) em tratores, ainda é algo muito incipiente. (CHERUBIN, 2019)

A adoção dessas tecnologias vem acompanhada da necessidade de uma maior instrução técnica para os colaboradores, o que muitas vezes pode ser um obstáculo para as empresas que pretendem implantá-las.

2.2 PRECISÃO E ACURÁCIA

De acordo com Monico *et al.* (2009), quando se trata de exatidão de medidas, inicialmente, é importante entender que qualquer medida está sujeita a variados tipos de erros, quer seja de natureza grosseira, sistemática ou aleatória (randômicos). Os autores ainda completam a ideia relatando que erros grosseiros, em geral, podem ser eliminados quando detectados.

Concluindo essa ideia, os autores falam, em seguida, sobre os efeitos destes erros na interpretação das medidas:

Como consequência dos erros sistemáticos e aleatórios, o valor verdadeiro de uma grandeza, a rigor, nunca é conhecido, muito embora a qualidade de uma medida, grandeza ou parâmetro possa ser melhor que a de outra. Pode-se afirmar então que, teoricamente, o valor verdadeiro de uma grandeza é um conceito abstrato. Na prática, no entanto, pode-se dispor de uma grandeza com qualidade superior a outra, podendo-se considerá-la como de referência ou verdadeira. (MONICO *et al.*, 2009, p. 470)

Para Mikhail e Ackerman (1976), acurácia se trata do grau de proximidade de uma estimativa com seu parâmetro (ou valor verdadeiro), enquanto que precisão expressa o grau de consistência da grandeza medida com sua média. Ainda segundo eles, a diferença entre precisão e acurácia advém da presença de erros sistemáticos, que se manifestam como uma tendência constante ou variável com tempo, afetando a estimativa.

As divergências entre os autores quanto à definição de acurácia e precisão existem, mas são bem menos frequentes que a discussão sobre os tipos de erros que estão envolvidos em cada uma delas.

Segundo Mikhail e Ackerman (1976), Bussab e Morettin (1987) e Gemael (1994), precisão está vinculada apenas aos efeitos aleatórios ao passo que a acurácia vincula-se aos efeitos sistemáticos e aleatórios (tendência e sua dispersão).

Discordantes aos autores citados anteriormente, quanto ao conceito de acurácia apenas, Andrade (2003) e Wolf e Ghilani (1997), determinam que esta é associada apenas aos erros sistemáticos.

Como foi originalmente definido por Carl Friedrich Gauss, no início do século XIX, não há dúvida de que o termo acurácia envolve tanto erros sistemáticos quanto aleatórios, enquanto precisão está unicamente vinculada com erros aleatórios. Ainda segundo Gauss, toda medida possui um certo nível de acurácia e de precisão.

Partindo desta ideia, para um conjunto de medidas que não apresenta erros sistemáticos (sem tendência), os valores de acurácia e precisão se confundem. Portanto, para não se entrar em contradições, considera-se que o termo acurácia por si só envolve a medida de precisão, já que os erros aleatórios que influenciam ambas são os mesmos para uma mesma medida.

3 METODOLOGIA

A pesquisa se qualifica, quanto ao seu procedimento, como um estudo de caso aplicado, de objetivo descritivo e exploratório, abordagem quali-quantitativa e método hipotético-dedutivo.

O estudo foi realizado em uma destilaria que produz aguardente obtida pela destilação do mosto fermentado da cana-de-açúcar, em alambique de cobre e sem a adição de açúcar, localizada na microrregião do Brejo da Paraíba, Brasil.

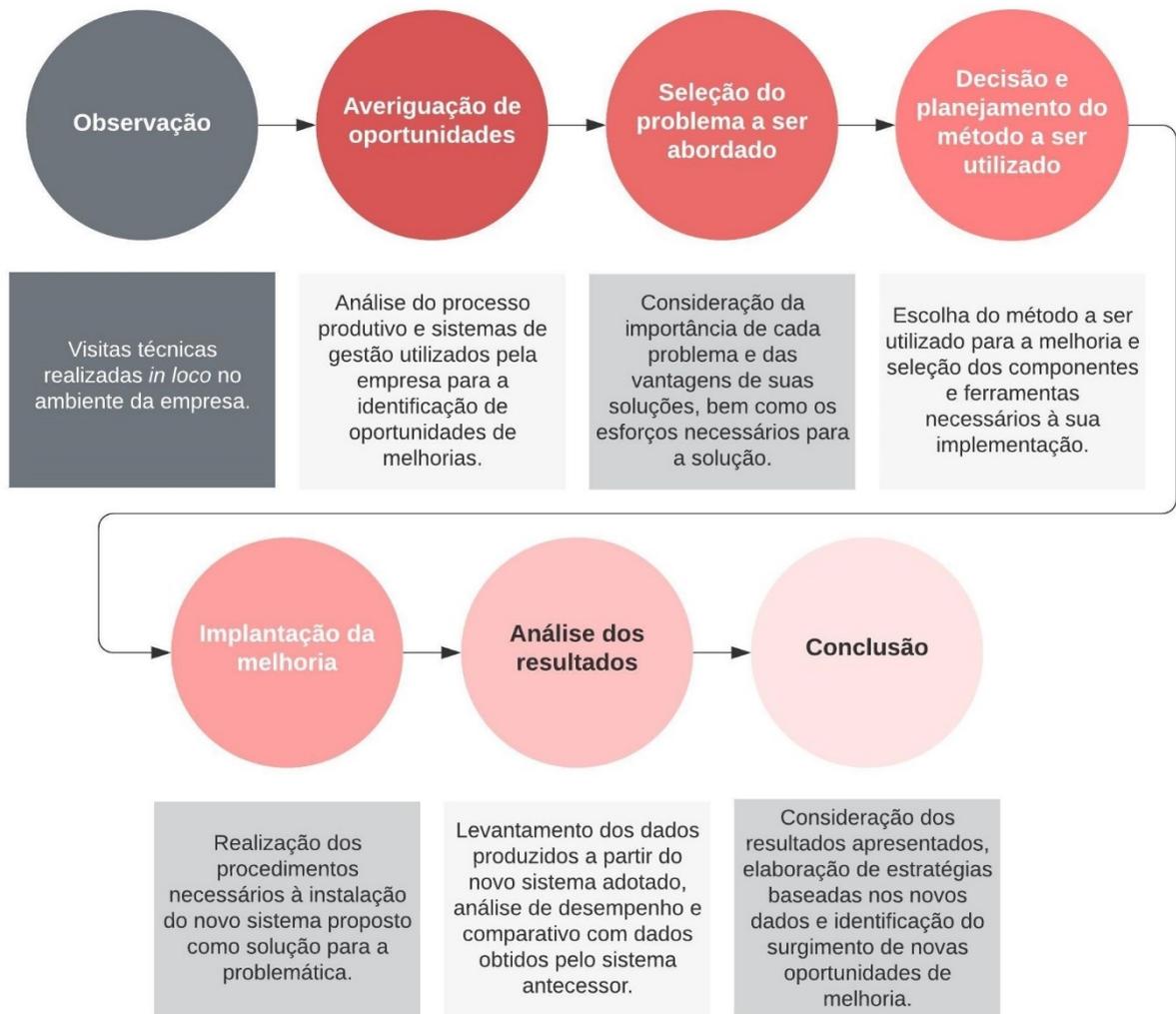
A necessidade de uma intervenção no método de medição do volume de produção da cachaça produzida pelo engenho foi observada através de visitas técnicas *in loco*, já sendo ela, também, de conhecimento da gerência do setor. O reconhecimento do problema se deu através da observação direta de todo o processo produtivo, enquanto ele era descrito por funcionários, sendo também realizadas entrevistas com o proprietário, gerentes e demais colaboradores da empresa.

O processo produtivo da empresa envolve etapas de moagem da matéria prima, fermentação do mosto obtido e destilação. Após o último processo citado, parte do produto obtido é armazenado em um estoque intermediário, onde aguardará pelo processo de envase, e outra parte é alocada em recipientes específicos, onde passa por um processo de maturação antes de finalmente ser envasado, resultando em dois produtos diferentes.

Com base no que foi observado, considerou-se insatisfatório o nível de confiabilidade do método utilizado pelos funcionários para determinar o volume de produção obtido após a etapa de destilação, já que o mesmo consistia em medir o volume ocupado em um tanque, o qual recebia o produto da destilação. Isso motivou a substituição deste método e a realização desse estudo, através de um projeto que visou a automação do sistema de medição.

O processo para a realização do projeto incluiu a escolha e aplicação dos componentes e ferramentas necessários à sua concepção, teste em laboratório e instalação do novo sistema na empresa e obtenção de dados produzidos a partir dele.

Fluxograma 2 - Fluxo metodológico.



Fonte: Próprio autor (2021).

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DO PROCESSO

O processo de produção da cachaça na empresa é iniciado pela etapa de moagem, que é realizada em uma grande moenda, movida por um motor elétrico, a qual é abastecida constantemente e manualmente, por operários, com a matéria prima do produto, a cana-de-açúcar. A partir desse processo, é obtido o mosto da cana-de-açúcar, que é despejado em um tanque para peneiramento e filtragem, onde aguardará até o transporte para as dornas de fermentação.

Fotografia 1 - Moenda utilizada no processo de moagem.



Fonte: Próprio autor (2020).

Após a moagem, o mosto é transferido para tanques de aço inoxidável, onde passam pelo processo de fermentação, que dura em média 24 horas, necessário para a obtenção do álcool.

Fotografia 2 - Área de fermentação.



Fonte: Próprio autor (2020).

O produto resultante da fermentação é levado para destiladores, onde é processado e transformado em três novos produtos, denominados cachaça de cabeça, coração e de cauda. Estes são produzidos em diferentes momentos pelos destiladores, sendo diferenciados pela sua densidade através de um densímetro. Esta característica ajuda os operários a identificarem a graduação alcoólica de cada um deles, que é um parâmetro importantíssimo para o produto final. Os três produtos obtidos da destilação são despejados em tanques distintos e apenas um deles, o coração, é passado adiante no processo, sendo os outros dois descartados.

Fotografia 3 - Área de destilação, com destaque em vermelho, para o tanque que recebe o material recém destilado.



Tanque de coleta da cachaça saída do alambique.

Fonte: Próprio autor (2020).

O produto então é bombeado para tanques de estoque intermediário, onde aguardarão pelo envase. Uma menor parte é alocada para um armazenamento especial, correspondente a barris de madeira, onde o produto passará um tempo pré-determinado, a fim de sofrer um processo de maturação conhecido por envelhecimento, que pode durar de 3 a 6 meses, com base nas características que se deseja obter.

Fotografia 4 - Estoque intermediário que antecede a etapa de envase.



Fonte: Próprio autor (2020).

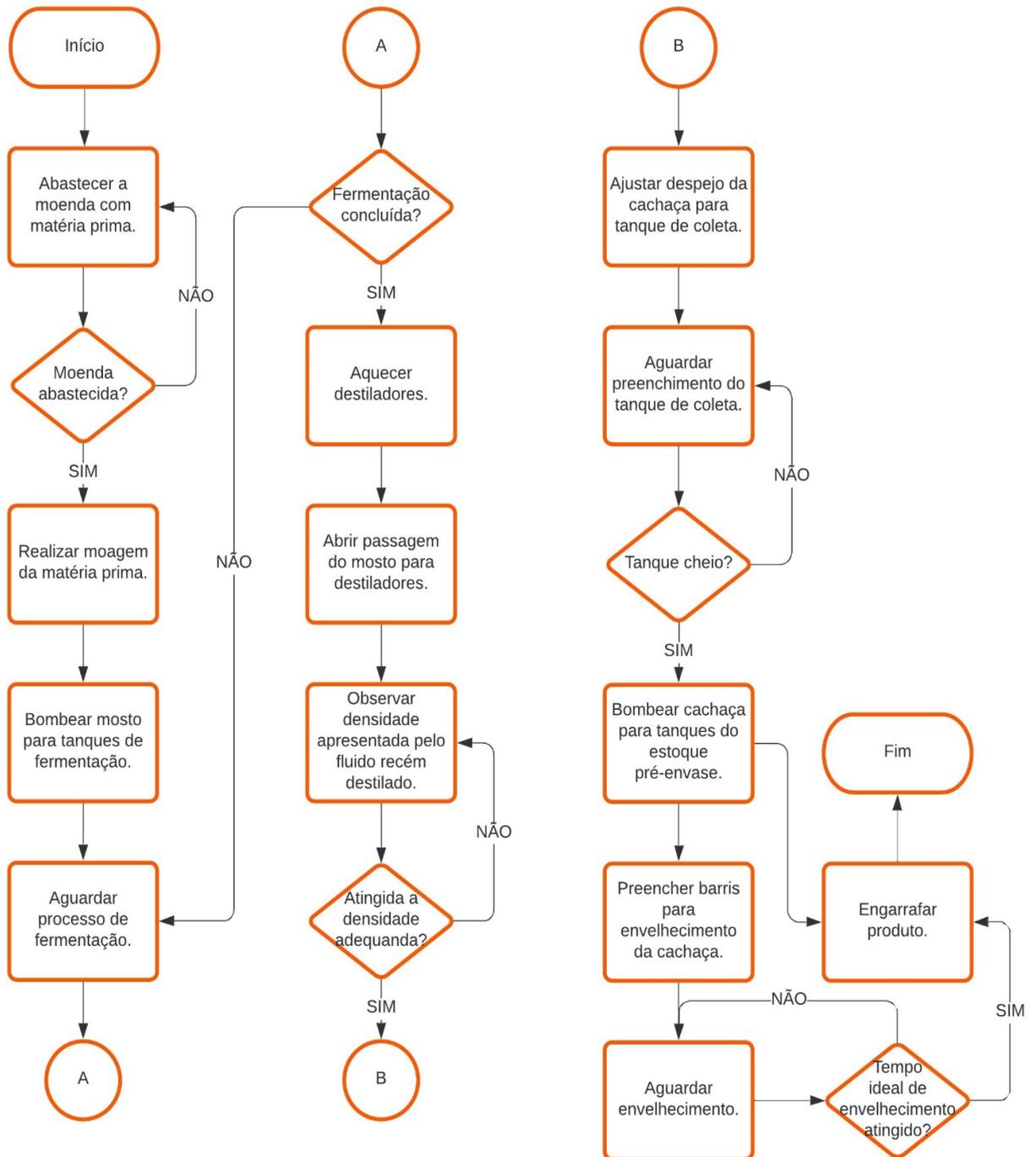
A finalização do processo é realizada no envase, onde o produto anteriormente armazenado é engarrafado e agrupado em pacotes de 6 unidades, sendo em seguida encaminhado para o seu estoque final.

Fotografia 5 - Equipamentos para envase.



Fonte: Próprio autor (2020).

Fluxograma 3 - Processo de produção da cachaça.



Fonte: Próprio autor (2020).

4.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Os métodos utilizados para aferição do volume produzido eram dois, alternando-se aleatoriamente entre eles em diferentes dias. Um deles correspondia a um valor obtido com base na taxa de produção de cachaça coração (que tem valor pré-determinado) em função da

quantidade de insumo utilizado (cana-de-açúcar). O outro dado era obtido através da medição manual do volume produzido, sendo este o mais utilizado.

O segundo método era realizado levando-se em consideração as dimensões do tanque de coleta da destilação, destacado na Fotografia 2. O cálculo era realizado por um funcionário que inseria uma espécie de régua de madeira, não graduada, no interior do tanque até alcançar o fundo. Posteriormente era medido o comprimento da parte úmida da régua, sendo essa medida adotada como a profundidade da área ocupada pelo fluido, que em seguida era multiplicada pela largura e comprimento do tanque, tendo assim um valor aproximado do volume produzido.

Segundo o supervisor da produção, a média de produção diária, mensurada pelo segundo método, era de aproximadamente 2000 L/dia.

Devido à metodologia rústica e baixa precisão dos equipamentos utilizados nesse método, este foi considerado insuficientemente confiável. Além disso, essa medição exigia a retirada de algum funcionário de sua função original a fim de realizá-la, acarretando pausas na produção.

O dado obtido sobre o volume da produção não era documentado. A informação era passada oral e informalmente para o supervisor e em seguida para o proprietário, e gerente geral, da empresa.

Com base nesse cenário, e em acordo com o proprietário, optou-se por alterar este método, implementando um sistema automatizado de contagem de volume de produção em tempo real, ao qual a gerência pudesse ter acesso remoto e direto, possibilitando a verificação do dado obtido.

4.3 MÉTODO IMPLANTADO

O primeiro ponto analisado no problema abordado referiu-se à baixa precisão no método de medição adotado, que, além dos problemas anteriormente citados, era realizado por diferentes funcionários, submetendo as aferições a diferentes tendências de medição. Esta era, também, a questão mais básica e importante a se resolver, portanto a primeira a ter sua solução idealizada. Para tal, optou-se pela automação desse sistema, considerando que este método é capaz de envolver praticidade, precisão e baixo custo.

O primeiro componente adotado para o novo sistema foi o sensor de fluxo de água modelo YF-S201, tendo em vista sua capacidade de atender à necessidade apresentada e seu ótimo custo-benefício.

Fotografia 6 - Sensor de fluxo de água YF-S201.



Fonte: Filipeflo (2020).

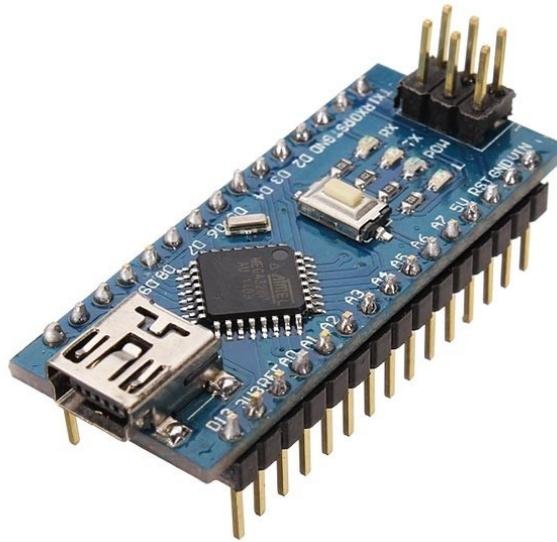
O funcionamento do sensor se dá através de uma ventoinha no interior do dispositivo, que gira quando há algum fluxo de fluido. A ela está acoplado um ímã, que estimula um sensor de campo eletromagnético ao ser girado, enviando pulsos elétricos para um microcontrolador.

Quadro 1 - Informações técnicas do sensor de fluxo.

Sensor YF-S201	
Tensão de operação	DC 5 V
Margem de vazão	1 a 30 L/min
Temperatura de operação	≤ 80 °C
Pressão do fluido	$\leq 1,75$ MPa
Diâmetro da entrada e saída	20 mm

Fonte: YF-S201 datasheet (2020).

Para a captação do sinal emitido pelo sensor, foi necessária a utilização de um microcontrolador, o qual optou-se pelo ATmega328. Essa escolha foi feita com base na praticidade para utilização deste através de placas de circuito integrado, como o Arduino Nano, na sua compatibilidade com o sensor e pelo seu baixo custo.

Fotografia 7 - Arduino Nano.

Fonte: Filipeflop (2020).

O método de comunicação utilizado pelo sensor de fluxo, que se dá através de pulsos elétricos, é chamado de interrupção, sendo esta a ausência de tensão elétrica que ocorre no intervalo entre os pulsos. O microcontrolador tem a função de contabilizar a frequência com que estas interrupções acontecem, permitindo que, por meio de calibração manual, seja estabelecida uma relação entre este dado e a vazão a qual o sensor esteja sendo submetido. Através dessa informação, também pode-se obter o fluxo total de fluido transitado no interior do sensor.

Em laboratório, com a ajuda de um kit didático de controle de nível e vazão, o sensor foi submetido à uma vazão pré-determinada. Conectando-o ao microcontrolador, pôde-se determinar a frequência de pulsos enviados pelo sensor. Observou-se então que a razão entre a frequência (F) dos pulsos e a vazão (V), ao qual o sensor estava sendo submetido, resultava em uma constante (C).

$$C = \frac{F}{V}$$

Desta forma, tendo-se o conhecimento da constante necessária para o cálculo e da frequência de pulsos instantânea emitida pelo sensor, pode-se então obter o valor da vazão instantânea.

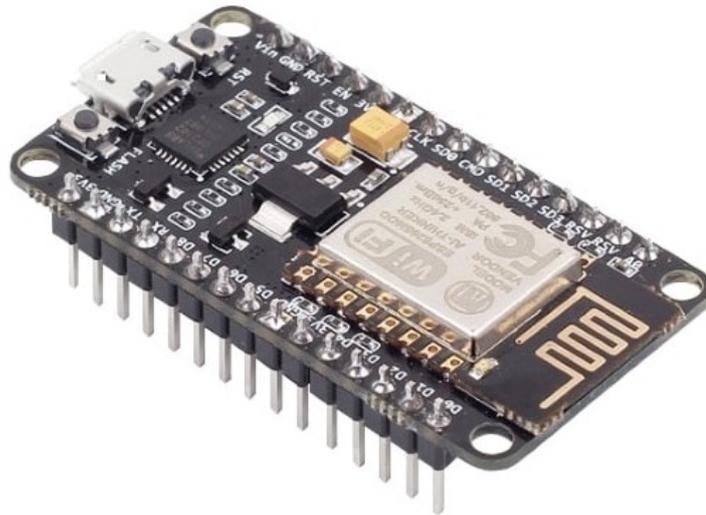
Fotografia 8 - Exemplo de Kit de controle de nível e vazão.



Fonte: Astral Científica (2020).

Para possibilitar um acesso prático aos dados gerados pelo sistema, foi inserido ao projeto o conceito de Internet das Coisas, onde as informações ficam dispostas em nuvem, exigindo apenas a conexão com a internet para a obtenção delas. Para realizar a conexão necessária, foi utilizada uma segunda placa de circuito integrado, a NodeMCU ESP8266 ESP-12, possuidora de tecnologia *Wi-fi*, possibilitando a aplicação do conceito de IoT. A escolha deste componente se baseou no seu baixo custo, praticidade de uso e compatibilidade com os demais que compõem o sistema, possibilitando a ligação direta ao Arduino Nano, sem necessidade de utilização de conversores ou adaptadores.

Fotografia 9 - Placa NodeMCU ESP8266 ESP-12F.



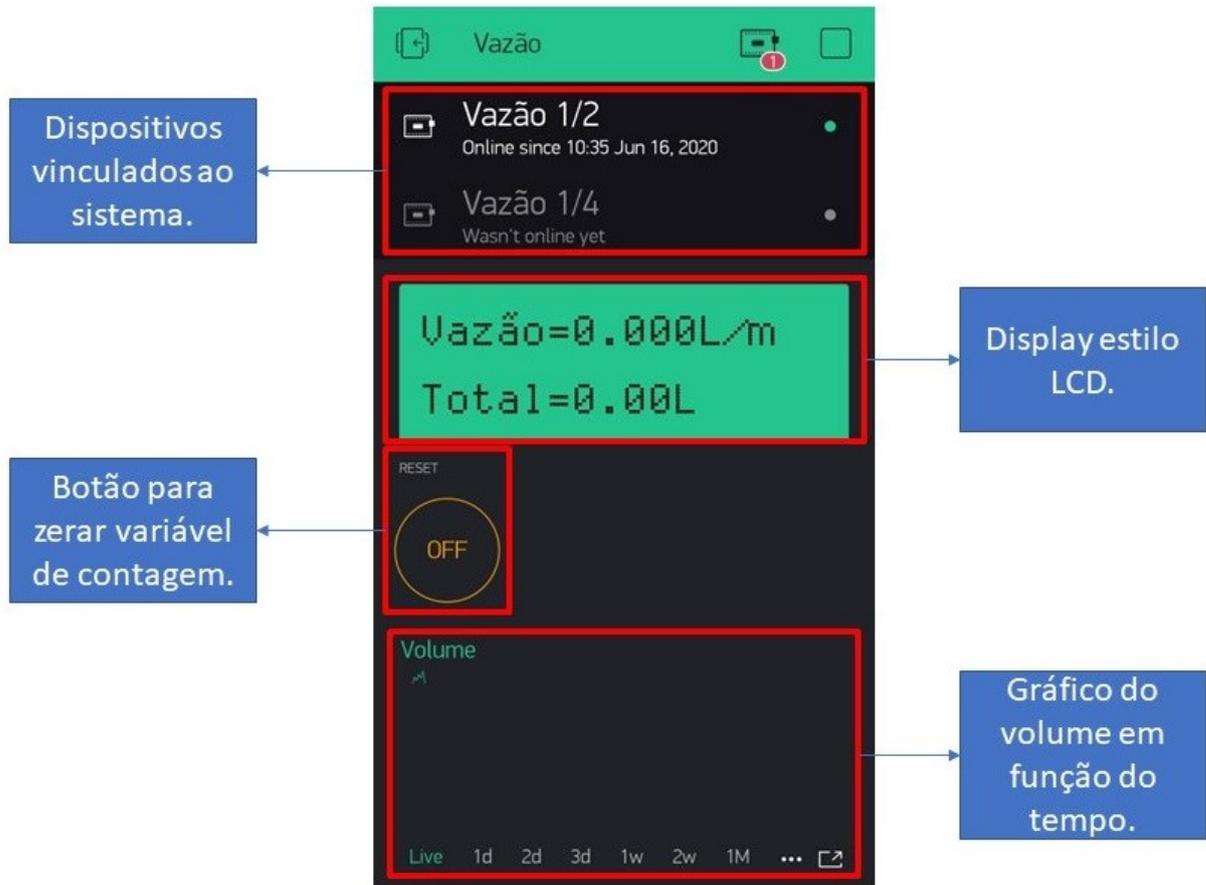
Fonte: Filipeflop (2020).

Esta placa foi adicionada ao sistema ficando ligada diretamente ao Arduino Nano e recebendo deste, através de comunicação serial, a informação referente à vazão instantânea, que é recebida uma vez por segundo na grandeza de litros por segundo (L/s), e, em seguida, acumulada em uma variável, que representa o volume total de fluido transitado no interior do sensor. Estas informações são enviadas para um servidor em nuvem através de conectividade *Wifi*, possibilitada pela conexão da placa Node com a rede interna da empresa.

Para a disposição das informações, foi utilizado o *Blynk*, uma plataforma de desenvolvimento e negócios com base em Internet das Coisas. No aplicativo da plataforma, que pode ser utilizado em *smartphones* com sistema operacional Android ou IOS, foi criado um projeto para o controle do sistema, onde três diferentes *widgets* (Painéis de instrumentos) foram utilizados, sendo eles um display estilo LCD, um botão e um *plotter* de gráficos.

O display mostra duas informações, a primeira referente à vazão instantânea e a segunda ao total de fluido contabilizado; o botão foi configurado para zerar a variável que gera a segunda informação no display, possibilitando o recomeço da contagem; e o *plotter* salva o valor desta variável antes de ser zerada, gerando um gráfico que expõe as informações de volume de produção em função do tempo.

Fluxograma 4 - Exibição do painel de visualização e controle do sistema.



Fonte: Próprio autor (2020).

O sistema foi instalado em um encanamento que conecta o tanque coletor da cachaça que sai dos destiladores, demonstrado na Fotografia 5, ao estoque intermediário que antecede o envase do produto, demonstrado na Fotografia 6. A transferência ocorrida através deste encanamento acontece por meio de bombeamento.

Fotografia 10 - Exemplo de sistema de medição de vazão instalado.



Fonte: (A VOZ DA INDÚSTRIA, 2017).

4.4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após as calibrações, o novo sistema foi submetido a testes. Neles, quantidades pré-estabelecidas de água foram forçadas a fluir através do sensor a fim de se obter o volume total de fluido transitado.

Um volume de 5 litros de água foi utilizado na medição, sendo realizada 10 vezes, o que gerou os seguintes dados:

Quadro 2 - Medições realizadas através do novo sistema.

Medição	Valor (L)
1 ^a	5,082
2 ^a	5,036
3 ^a	4,908
4 ^a	5,131
5 ^a	5,070
6 ^a	4,918
7 ^a	5,032
8 ^a	4,934
9 ^a	4,955
10 ^a	5,082
Média	5,015

Fonte: Próprio autor (2020).

Com base nessas medições, a maior variação observada, em relação ao valor real, 5 litros, foi de 2,62%. Enquanto isso, a média das medições converge para mais próximo do valor real, com uma variação de 0,3%.

O sistema de medição foi alocado nas instalações onde se encontra o estoque intermediário que antecede o envase, realizando a contagem do volume de cachaça, que é bombeado e armazenado em 4 tanques de aço inoxidável com capacidade para 100 mil litros cada, que podem ser vistos na figura 6.

Com este novo método, o supervisor da produção e o proprietário da empresa podem acompanhar em tempo real, através de seus *smartphones*, o ritmo de produção dos destiladores, com o requisito de estarem conectados à Internet. Ao fim da jornada de trabalho, a contagem pode ser zerada através do botão disponível na interface da aplicação, possibilitando uma nova contagem a partir do zero.

Houve também uma significativa mudança nos números normalmente obtidos da medição de volume produzido, alterando a média diária de produção, antes calculada em 2000 litros, para aproximadamente 1800 litros.

Quadro 3 - Registro do volume de produção medido a partir do novo método.

Data	Volume produzido (L)
17/fev	1823
18/fev	1876
19/fev	1718
20/fev	1722
21/fev	1897
22/fev	1712
24/fev	1810
25/fev	1858
26/fev	1721
27/fev	1870
28/fev	1864
29/fev	1870
Média	1811,75

Fonte: Próprio autor (2020).

Se tratando do produto acabado, no engenho, é realizado o envase de 900 litros de cachaça por dia, em média. Considerando que nele não há expediente de trabalho aos domingos, seu funcionamento se restringe a aproximadamente 313 dias por ano, totalizando 281,7 mil litros de cachaça engarrafados anualmente.

Devido à alta capacidade de armazenamento do estoque intermediário da cachaça, 400 mil litros, aliada à sazonalidade da colheita da cana-de-açúcar, o engenho optou por concentrar as etapas da produção que antecedem o envase em um único período do ano.

Levando em consideração o volume de produção dos destiladores estimado anteriormente à implantação do novo método de medição, 2000 litros, era calculado que, para se atender à demanda da etapa de envase, 281,7mil litros, seriam necessários aproximadamente 141 dias de produção da cachaça, no que diz respeito às etapas de produção que abrangem da moagem à destilação. Com a nova medição, 1800 litros, obtida a partir do sistema automatizado, percebeu-se a necessidade do replanejamento dos dias de produção, que foi recalculado em 156,5 dias.

Esta variação entre o volume de produção anteriormente estimado e o real era involuntariamente suprida por dias extras de produção, adotados para gerar estoque de segurança.

5 CONCLUSÃO

Além do recebimento de dados em primeira mão, possui-se um sistema de informação e controle mais eficaz e de maior confiabilidade, devido ao método de obtenção de dados automatizado e de precisão bem definida, tendo como base as informações técnicas dos equipamentos e a calibração realizada, no sistema, em equipamentos laboratoriais de alta precisão. Este é, também, de fácil adequação para outras empresas.

Com as alterações realizadas também pôde-se quantificar a variação entre as medições feitas através do antigo método e dados mais próximos da realidade, correspondendo a uma melhora de 10%, causando um importante impacto no cronograma produtivo da empresa, a um baixo custo, como resultado.

O presente estudo consegue mostrar as vantagens da automação de sistemas industriais, assim como do uso do conceito de Internet das Coisas. Sua aplicação também apresenta uma ampla e prática ferramenta, a plataforma *Blynk*, capaz de atender e viabilizar diversos projetos baseados em Indústria 4.0.

Estudos relacionados a sistemas que exijam respostas rápidas a determinados estímulos ou que necessitem de métodos mais eficientes para disseminação de informação podem se beneficiar das ferramentas aqui utilizadas. O projeto aqui reproduzido abre portas para novas ideias que possam se utilizar desses conceitos e que são facilmente adaptáveis aos métodos utilizados, como monitoramento de processos e equipamentos, viabilizando melhores resultados na gestão da informação, manutenção, etc.

O armazenamento realizado pela plataforma demonstrou limitações, como a organização de dados apenas por ordem de recebimento, no caso do *download* destes, não disponibilizando a data ou horário para cada informação recebida, condição considerada ideal para o sistema visado, facilitando o gerenciamento da informação de forma a transformá-la em conhecimento.

O estudo também precisou desconsiderar uma perda de produto ocorrida na etapa de envase, cuja quantidade é uma informação desconhecida, mas necessária para tornar completos os cálculos que visam encontrar a extensão ideal do período de produção da cachaça.

De tal forma, novos projetos precisam ser realizados, de forma a atender todas as necessidades da empresa no que diz respeito ao novo sistema. Estudos com base em novas plataformas que possibilitem o armazenamento de dados com respectivas datas e horários de coleta, dispensando a necessidade de uma anotação manual destes, seriam ideais para tornar

este projeto mais completo e eficaz. Assim, tais alterações já são pretendidas como modificações futuras para o projeto do sistema, tornando-o adequado para ser comercializado.

Além disso, a adoção de um segundo sistema, capaz de mensurar as perdas de produto ocorridas na etapa de envase, mostra-se indispensável para uma precisa determinação da demanda de produção, estimulando novos estudos que possibilitem a implementação deste.

Por fim, o desempenho apresentado pelo sistema mostrou-se satisfatório, possibilitando um monitoramento antes desejado pelo proprietário da empresa. O estudo trouxe crédito para projetos de automação industrial e abriu margem para a realização de novas modificações dessa natureza, as quais são preciosas para auxiliar as empresas em seu processo de melhoria contínua.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, T. D. de; CAVALCANTE, C. G. S.; FETTERMANN, D. de C. Indústria 4.0: tecnologias e nível de maturidade de suas aplicações. In: **11º Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto**. 2017. p. 151.
- ANDRADE, Jose Bittencourt de. **Fotogrametria**. 2. ed. Curitiba: SBEE, 2003.
- AQUINO, André. Sensores conectados em rede. **Revista da Sociedade Brasileira de Computação**, v. 29, n. 4, p. 9–13, 2015.
- ASHTON, Kevin. Entrevista com Kevin Ashton. **Inovação em Pauta**, 2014.
- A VOZ DA INDÚSTRIA. **Calibração de medidores de vazão: qual opção escolher?** Disponível em: < <https://avozdaindustria.com.br/gest-o/calibra-o-de-medidores-de-vaz-o-qual-op-o-escolher>>. Acesso em: 9 jun. 2021.
- BORRACHA, António Manuel Lira Gomes. **Laboratório remoto de automação industrial (Lab-RAI)**. 2012. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- BRETTEL, Malte et al. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37–44, 2014.
- BUSSAB, Wilton Oliveira; MORETTIN, Pedro Alberto. **Métodos Quantitativos - Estatística Básica**. São Paulo: Atual, 1987.
- CHERUBIN, Natália. Chegamos à usina 4.0? **RPA News**, ago. 2019.
- DWIVEDI, A. K.; VYAS, O. P. Wireless sensor network: at a glance. **Recent Advances in Wireless Communications and Networks**, p. 299-326, 2011.
- EVANS, Dave. A Internet das Coisas: como a próxima evolução da Internet está mudando tudo. **CISCO IBSG**, p. 1–13, 2011.
- GEMAEL, C. Introdução ao ajustamento de observações: aplicações de Geodésia. 1º. **Curitiba: UFPR**. 319p, 1994.
- GROOVER, Mikell P. **Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing**. Chennai: Pearson Education India, 2016.
- GS1-BR; GFK. Índice de Automação do Mercado Brasileiro. p. 38, 2019.
- GUTIERREZ, Regina Maria Vinhais; PAN, Simon Shi Koo. **Complexo eletrônico: automação do controle industrial**. 2008.
- IBGE. **Demografia das empresas e estatísticas de empreendedorismo: 2018**. 34. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Cadastro e Classificações, 2020.

JESUS JUNIOR, Airton A. de; MORENO, Edward David. Segurança em Infraestrutura para Internet das Coisas. **Gestão.Org: Revista Eletrônica de Gestão Organizacional**, v. 13, p. 370–380, 2015.

KHAN, Rafiullah et al. Future internet: the internet of things architecture, possible applications and key challenges. In: **2012 10th international conference on frontiers of information technology**. IEEE, 2012. p. 257-260.

LUDWIG, Jean P. et al. Automação como Estratégia de Redução de Custos e Maior Produtividade: Estudo de Caso. **X Encontro Mineiro de Engenharia de Produção**, 2014.

MCAFEE, Andrew; BRYNJOLFSSON, Erik. **A Segunda Era das Máquinas**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2015.

MCNAMARA, Liam et al. Demo abstract: Sixthsense-dispersing the cloud. In: **European Conference on Wireless Sensor Networks (EWSN 2014)**. 2014.

MESSIAS, Josias. Cenário atual das usinas Adecoagro, Pedra, Bevap e Pitangueiras. **USINA 4.0 – A Transformação Digital da Indústria**. JornalCana, 2020.

MIKHAIL, E.; ACKERMAN, F. **Observations and Least Squares**. New York: University Press of America, 1976.

MONICO, João Francisco Galera et al. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, n. 3, p. 469-483, 2009.

PATRICIO, Thiago Seti et al. INTERNET DAS COISAS (IOT): AS CONSEQUÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO UBÍQUA NA SOCIEDADE. In: **Colloquium Humanarum. ISSN: 1809-8207**. 2018. p. 83-93.

REIS, Alessandro. Já sabe o que é Usina 4.0? Gestores de usinas explicam. **Jornal Cana**, 2020. Disponível em: <<https://jornalcana.com.br/voce-entendeu-o-que-e-usina-4-0-gestores-de-usinas-explicam/>>. Acesso em: 27 abr. 2021.

RUSCHEL, Henrique; ZANOTTO, Mariana Susan; MOTA, W. da C. Computação em nuvem. **Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, Brazil**, 2010.

SCHWAB, Klaus. **A Quarta Revolução Industrial**. 1ª ed. São Paulo: Edipro, 2016.

SILVA, André Luiz Emmel et al. Proposta de automação industrial em uma empresa fabricante de borrachas escolares. **Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 8, n. 1, p. 4159-4172, 2018.

SPRICIGO, B. **Nove pilares da Indústria 4.0**. Disponível em: <<https://www.pollux.com.br/index/wp-content/uploads/2018/03/Card-9-pilares-Linkedin.png>>. Acesso em: 7 set. 2020.

SUNDMAEKER, Harald et al. Vision and challenges for realising the Internet of Things. **Cluster of European research projects on the internet of things, European Commision**, v. 3, n. 3, p. 34-36, 2010.

TAMÁS, P.; ILLÉS, B.; DOBOS, P. Waste reduction possibilities for manufacturing systems in the industry 4.0. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2016. p. 012074.

VALENTE, Bruno Alexandre Loureiro. **Um middleware para a Internet das coisas**. 2011. Tese de Doutorado.

VEIGA, C. L. et al. O Uso de Poligonais de Precisão para o Monitoramento de Pontos em Galerias de Drenagem: A Experiência na Usina Hidrelétrica de Salto Caxias. **III Simpósio sobre Instrumentação de Barragens**, 2006.

VENTURELLI, Marcio. USINA 4.0 – O Setor Sucroenergético e a Indústria 4.0. **Jornal Cana**, 2015. Disponível em: <<https://marcioventurelli.com/2015/09/09/usina-4-0-o-setor-sucroenergetico-e-a-industria-4-0/>>. Acesso em: 22 abr. 2021.

WEYER, Stephan et al. Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. **Ifac-Papersonline**, v. 48, n. 3, p. 579–584, 2015.

WOLF, Paul R.; GHILANI, Charles D. **Adjustment computations: statistics and least squares in surveying and GIS**. New York: John Wiley & Sons, 1997.