

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E PROCESSOS
INDUSTRIAIS – MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CONTROLE E OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS
INDUSTRIAIS**

Leandro Haupt

**INDÚSTRIA 4.0: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA AO PROCESSO DE
CURTIMENTO NA INDÚSTRIA DO COURO**

Santa Cruz do Sul

2022

Leandro Haupt

**INDÚSTRIA 4.0: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA AO PROCESSO DE
CURTIMENTO NA INDÚSTRIA DO COURO**

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais da Universidade de Santa Cruz do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Sistemas e Processos Industriais, modalidade Acadêmica, na área de Controle e Otimização de Processos Industriais.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Furtado

Co Orientadora: Profa. Dra. Liane Mählmann Kipper

Santa Cruz do Sul

2022

Leandro Haupt

**INDÚSTRIA 4.0: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA AO PROCESSO DE
CURTIMENTO NA INDÚSTRIA DO COURO**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Sistemas e Processos Industriais e aprovada em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais da Universidade de Santa Cruz do Sul.

Dr. João Carlos Furtado
Professor Orientador – UNISC

Dra. Liane Mählmann Kipper
Professora Co Orientadora – UNISC

Dra. Rejane Frozza
Professora Examinadora – UNISC

Dr. Ismael Cristofer Baierle
Professor Examinador – Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Santa Cruz do Sul

2022

RESUMO

Os conceitos da Indústria 4.0 propõem trazer transformação digital à indústria e uma das tecnologias habilitadoras é a inteligência artificial. Assim, o objetivo do presente trabalho é, com o uso de técnicas de inteligência artificial e dados históricos, gerar e avaliar modelos de *Machine Learning* para a predição do rendimento do couro em curtumes. Para tal, foi utilizada a metodologia *Design Science Research*. Por meio de uma revisão sistemática da literatura, identificou-se as relações das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 com a indústria do couro, investigando os temas estratégicos, desafios e oportunidades, com o auxílio do software SciMAT (*Science Mapping Analysis Tool*). Os principais desafios se encontram na integração entre máquinas, rastreabilidade do processo, qualidade dos dados, implementações de Internet das Coisas e simulação. As oportunidades identificadas relacionam-se com estudos voltados para inteligência artificial, a fim de detectar padrões de produção, otimizar processos, prever falhas e simular o processo produtivo. Desse modo, com a utilização do software *Orange Data Mining*, um artefato de predição do rendimento do couro foi desenvolvido e diferentes modelos de *Machine Learning* analisados. Os resultados mostram que o modelo de *Machine Learning* utilizando o algoritmo *AdaBoost* é capaz de realizar uma predição de rendimento do couro com o menor erro (*Mean Absolute Error* - MAE (0,042), *Mean Squared Error* - MSE (0,003), *Root Mean Squared Error* - RMSE (0,057) e Coeficiente de Determinação - R2 (0,331)) dentre os demais algoritmos investigados *kNN*, *Tree*, *Random Forest*, *SVM*, *Gradient Boosting*, *Neural Network* e *Linear Regression*. Os modelos *Random Forest* e *Gradient Boosting* mostraram-se equivalentes quanto à capacidade preditiva do rendimento do couro.

Palavras-chaves: couro, curtume, indústria 4.0, inteligência artificial, aprendizado de máquina, algoritmos

ABSTRACT

The concepts of Industry 4.0 propose to bring digital transformation to the industry and one of the enabling technologies is artificial intelligence. Thus, the objective of the present work is, using artificial intelligence techniques and historical data, to generate and evaluate Machine Learning models for the prediction of leather yield in tanneries. To this end, the Design Science Research methodology was used. Through a systematic review of the literature, the relationships between the enabling technologies of Industry 4.0 and the leather industry were identified, investigating strategic themes, challenges, and opportunities, with the help of the SciMAT (Science Mapping Analysis Tool) software. The main challenges lie in machine-to-machine integration, process traceability, data quality, Internet of Things implementations and simulation. The opportunities identified are related to studies focused on artificial intelligence, in order to detect production patterns, optimize processes, predict failures and simulate the production process. Thus, using the Orange Data Mining software, a leather yield prediction artifact was developed, and different Machine Learning models analyzed. The results show that the Machine Learning model using the AdaBoost algorithm can predict leather yield with the smallest error (Mean Absolute Error - MAE (0.042), Mean Squared Error - MSE (0.003), Root Mean Squared Error - RMSE (0.057) and Determination Coefficient - R2 (0.331)) among the other investigated algorithms kNN, Tree, Random Forest, SVM, Gradient Boosting, Neural Network and Linear Regression. The Random Forest and Gradient Boosting models were shown to be equivalent in terms of predicting leather yield.

Keywords: leather, tannery, industry 4.0, artificial intelligence, machine learning, algorithms

SUMÁRIO

1	7	
1.1	8	
1.2	9	
1.3	9	
1.4	9	
2	10	
	12	
3	12	
		Erro! Indicador não definido.
3.1		Erro! Indicador não definido.
3.2		Erro! Indicador não definido.
3.2.1		Erro! Indicador não definido.
3.2.2		Erro! Indicador não definido.
3.2.3		Erro! Indicador não definido.
3.3		Erro! Indicador não definido.
3.3.1		Erro! Indicador não definido.
3.3.2		Erro! Indicador não definido.
3.3.3		Erro! Indicador não definido.
3.3.4		Erro! Indicador não definido.
3.3.5		Erro! Indicador não definido.
3.3.6		Erro! Indicador não definido.
3.3.7		Erro! Indicador não definido.
3.3.8		Erro! Indicador não definido.
3.4		Erro! Indicador não definido.
		Erro! Indicador não definido.
4		Erro! Indicador não definido.
		Erro! Indicador não definido.
4.1		Erro! Indicador não definido.
4.2		Erro! Indicador não definido.
4.3		Erro! Indicador não definido.
4.3.1		Erro! Indicador não definido.
4.3.2		Erro! Indicador não definido.
4.3.3		Erro! Indicador não definido.
4.3.4		Erro! Indicador não definido.
4.3.5		Erro! Indicador não definido.
4.3.6		Erro! Indicador não definido.
4.4		Erro! Indicador não definido.
		Erro! Indicador não definido.
5		Erro! Indicador não definido.
ANEXO A – Comprovante de submissão		53
ANEXO B – Status da submissão		54

1 INTRODUÇÃO

A indústria tem passado por grandes mudanças tecnológicas ao longo do tempo, estas comumente chamadas de revoluções industriais. Conhecida como primeira revolução industrial (1760 a 1850) ficou marcada com a substituição da mão de obra artesanal por máquinas, principalmente, a vapor. Posteriormente à segunda revolução industrial (1850 a 1945), ficou popularmente marcada pela energia elétrica nas indústrias. Com a terceira revolução industrial (1945 até os dias atuais), os sistemas físicos e mecânicos começaram a ser trocados por sistemas digitais. E, atualmente, estamos vivendo a transição para a quarta revolução industrial, chamada de indústria 4.0, que propõe trazer comunicação e inteligência para os processos da indústria (HEIKKIL; X00E; MALKAMO; ETEL *et al.*, 2022).

A indústria 4.0 é caracterizada, principalmente, pelos *Cyber-Physical Systems e Industrial Internet of Things* que visam a criação de um ambiente inteligente e uma das tecnologias chaves para trazer inteligência a estes processos é a inteligência artificial (EROL; JÄGER; HOLD; OTT *et al.*, 2016).

Técnicas de inteligência artificial vêm sendo aplicadas ao setor de manufatura permitindo processos mais eficientes, sustentabilidade com redução de desperdício e consumo de materiais, ambientes de trabalho mais seguros e maior qualidade e produtividade. A manufatura baseada em inteligência artificial pode oferecer várias inovações, fornecendo detecção e previsão de falhas, automatização e outras melhorias ao processo (ANGELOPOULOS; MICHAILIDIS; NOMIKOS; TRAKADAS *et al.*, 2020).

Assim, é notável que a inteligência artificial é uma das tecnologias que pode facilitar a implementação de conceitos da indústria 4.0 nas indústrias, produzindo conhecimento e aprendizado a partir da grande quantidade de dados gerados nessa nova indústria.

Segundo o Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil (CICB, 2020), o Brasil possui o maior rebanho bovino comercial do mundo além de 244 plantas curtidoras, 2.800 indústrias de componentes para couro e calçados e 120 fábricas de máquinas e equipamentos, e gera cerca de 30.000 empregos diretos, exportando o couro para 80 países como China, Itália e Estados Unidos e movimentando US\$ 2 bilhões a cada ano.

Neste cenário, a indústria do couro desempenha um papel importante na economia do país através de suas exportações e para os diversos setores industriais nacionais. Os couros e peles de animais são tratados quimicamente para melhorar o valor e, assim, maximizar resultados e otimizar a produção, o que se torna cada vez mais importante (MOHAMMED, 2020). A indústria do couro precisa ser transformada de seu uso tradicional para uma indústria

modernizada e ser capaz de acompanhar os mais recentes avanços tecnológicos (JAWAHAR; BABU; MOHAMED ISMAIL; VANI, 2017).

Contudo, segundo *SystemHaus* (2022), os atuais processos na indústria do couro estão em um estágio de maturidade bem distintos, desde empresas que possuem processos ainda relativamente artesanais até empresas que contam com máquinas de última geração e automatização de alguns de seus processos. Assim, o uso de sistemas computacionais se torna indispensável para a criação e implementação dos conceitos propostos pela indústria 4.0.

Existem no mercado softwares como o Antara, desenvolvido pela *SystemHaus* (2022), que é um software desenvolvido para atender as necessidades de gestão dos curtumes, servindo de apoio e suporte aos processos das organizações. Entre os principais módulos do software, destaca-se os seguintes: programação da produção, análise de produtividade e eficiência, análise de rendimentos e descartes, avaliação de fornecedores, classificação pele a pele, gestão de estoques, análise de custos, rastreabilidade do lote de produto químico e do couro, integrações com equipamentos, *business intelligence* e apoio administrativo.

Entretanto, mesmo com grande disponibilidade de dados históricos nestes sistemas de gestão, atualmente, os dados são geralmente utilizados para análises reativas, nas quais algo acontece e o gestor ou especialista precisa interpretar e buscar estes dados. Os sistemas podem ser aperfeiçoados e fornecer análises proativas que identificam problemas e soluções com antecedência. Técnicas de inteligência artificial, em especial *Machine Learning* que aprende a partir de dados históricos, são excelentes para a construção de sistemas de gestão mais proativos no cenário de indústria 4.0.

Neste contexto, se faz necessário incorporar conceitos e tecnologias da indústria 4.0 aos sistemas de gestão de curtumes com o intuito de torná-los mais completos, competitivos e capazes de atenderem as demandas dos seus clientes. Assim, estes sistemas poderão contribuir de maneira ainda mais significativa com a indústria do couro, colaborando para torná-la mais eficiente, competitiva e sustentável.

1.1 Tema

O tema de pesquisa deste trabalho é o uso da inteligência artificial no desenvolvimento de soluções à indústria do couro, a fim de trazer a transformação digital proposta pelos conceitos de Indústria 4.0 para este segmento industrial.

1.2 Problema de Pesquisa

A indústria do couro possui diversos processos distintos para realizar o curtimento do couro, e o processo aplicado varia conforme a matéria prima e as características desejadas para o produto/artigo. Algumas das principais características visadas ao final do processo são a espessura, tamanho, elasticidade, maciez e lisura. A configuração do processo de curtimento para cada artigo é, geralmente, realizada através do modelo tradicional de resolução de problemas por tentativa e erro, que são danosos e caros.

As organizações que utilizam sistemas de apoio à gestão, em especial o Antara, têm a possibilidade de não somente ter seus processos de curtimento documentados, mas também as execuções destes processos, os parâmetros reais aplicados. Ainda é possível traçar a rastreabilidade dos lotes de couro, ou seja, é possível identificar todos os processos que um determinado lote sofreu e que resultaram nas características finais deste lote. Problemas em lotes podem ser identificados através da rastreabilidade e conhecer em qual procedimento houve a falha.

Então, o problema de pesquisa se baseia na seguinte pergunta: “Como a inteligência artificial pode contribuir para aperfeiçoar o processo produtivo da indústria do couro visando a predição do rendimento do couro?”.

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é gerar e avaliar modelos de *Machine Learning* para a predição do rendimento do couro em curtumes. A fim de dar suporte para o sucesso do objetivo geral, foram definidos objetivos específicos a serem alcançados durante a execução deste trabalho.

- Realizar uma revisão sistemática da literatura das tecnologias da Indústria 4.0 no setor de curtumes.
- Realizar um diagnóstico de um processo de curtimento do couro.
- Investigar, identificar e coletar os parâmetros e variáveis do processo de curtimento.
- Propor e desenvolver um artefato baseado em inteligência artificial.
- Avaliar o artefato proposto.

1.4 Justificativa

Destaca-se que este projeto se reveste de importância econômica e científica. Sob a ótica econômica, é importante superar deficiências, desperdícios, perdas e atrasos tecnológicos nos

processos de manufatura da indústria do couro. Essa evolução tecnológica necessariamente se apoiará em sistemas computacionais, como o sistema Antara. O sistema Antara, genuinamente criado e desenvolvido por empresa brasileira, atualmente, está em uso em 16 países, em 69 curtumes que se desdobram em 89 plantas por todo o mundo, fomenta empregos e pesquisas no Rio Grande do Sul, aproximando academia e sistema produtivo, sendo elemento importante na inovação nas organizações.

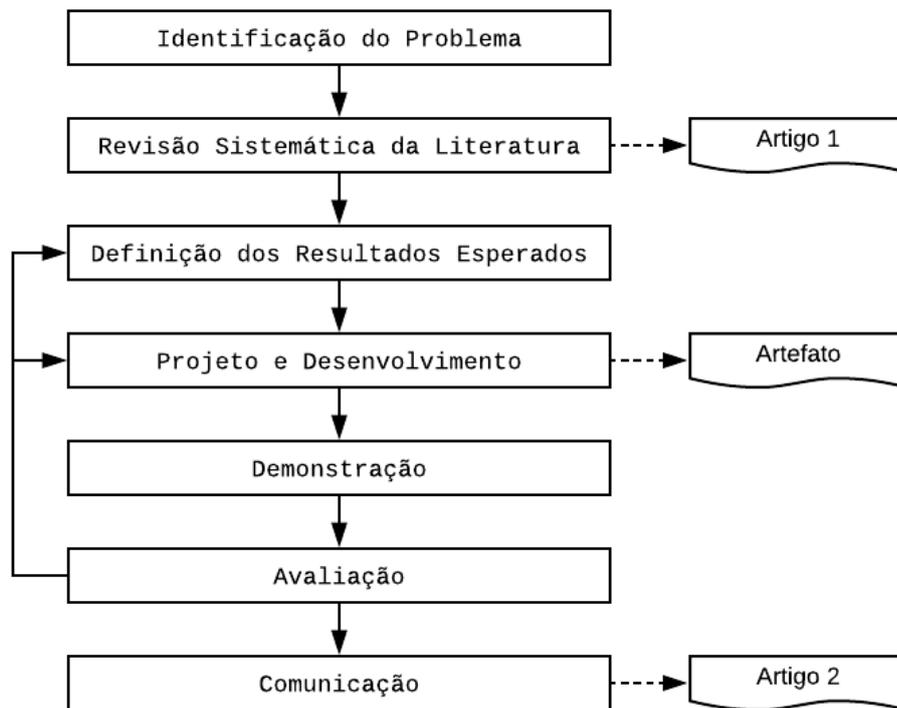
Sob a ótica científica, compreender e apoderar-se dos conhecimentos exigidos pela indústria 4.0, conduzir experimentos, projetar e desenvolver sistemas computacionais, especialmente na área de inteligência artificial, que são desafios ainda postos para a comunidade científica internacional.

Destaca-se, especialmente, a oportunidade de construir e avançar o conhecimento acerca da Indústria 4.0, buscando que este seja relevante e útil, tanto para a academia, quanto fundamentalmente para as organizações.

2 METODOLOGIA

Nesta seção são detalhados os procedimentos metodológicos empregados para condução desta dissertação. Devido ao objetivo de gerar uma solução tecnológica para um problema prático na indústria do couro, manter o rigor metodológico, respaldo científico e geração de conhecimento, o método da *Design Science Research* se mostra adequado (LACERDA; DRESCH; PROENÇA; ANTUNES JÚNIOR, 2012). A Figura 1 ilustra as etapas metodológicas e os objetos esperados resultantes deste trabalho.

Figura 1 – Etapas metodológicas e objetos resultantes



Fonte: Adaptado de Lacerda *et al.* (2012) e Peffers *et al.* (2007).

A primeira fase, Identificação do Problema, consiste em detectar, desenvolver e justificar o tema e problema estudado. Em seguida foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura com o objetivo de identificar de forma sistemática o estado da arte da indústria 4.0 relacionada às tecnologias de inteligência artificial. Esta revisão foi documentada em forma de artigo, resultando assim, na proposta do primeiro artigo, apresentada na íntegra no capítulo 3. O artigo 1 foi encaminhado para o periódico *Journal of Management Analytics*, com fator de impacto 6.5 (2020) *CiteScore* (Scopus) e encontra-se em fase de avaliação pelos revisores. O comprovante deste envio encontra-se no Anexo A e Anexo B.

Na terceira fase, Definição dos Resultados Esperados, foram definidas as premissas para o artefato, assim como o que se espera de resposta para a solução do problema. Em seguida, iniciou-se a fase de Projeto e Desenvolvimento do artefato a partir do conhecimento construído anteriormente. Nesta fase foram identificados e coletados os dados para o desenvolvimento do artefato, que foram coletados de um curtume que utiliza o sistema Antara. A estruturação dos dados contou com o apoio da desenvolvedora do sistema Antara e técnicos do setor de curtumes. Do mesmo modo, foram definidas as técnicas de inteligência artificial utilizadas, com base nos

resultados esperados e dados disponíveis. A descrição completa desta fase encontra-se no capítulo 4 desta dissertação.

Após a conclusão do desenvolvimento do artefato, foram realizados os testes e sua avaliação. Foram definidas métricas para a avaliação do artefato conforme as técnicas utilizadas. Por fim, o conhecimento e artefato gerados serão disseminados na forma de artigo.

1. REFERÊNCIAS

ANGELOPOULOS, A.; MICHAILEDIS, E. T.; NOMIKOS, N.; TRAKADAS, P. *et al.* Tackling faults in the industry 4.0 era—a survey of machine-learning solutions and key aspects. **Sensors (Switzerland)**, 20, n. 1, 2020. Review.

CICB. Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil. 2020.

EROL, S.; JÄGER, A.; HOLD, P.; OTT, K. *et al.* Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production. **Procedia CIRP**, 54, p. 13-18, 2016/01/01/2016.

HEIKKIL, M.; X00E; MALKAMO, V.; ETEL, P. *et al.*, 2022, **Latency Validation Method for 3D 5G Networks; URLLC Applications**. 1-5.

JAWAHAR, M.; BABU, N. K. C.; MOHAMED ISMAIL, M.; VANI, K., 2017, English, **Compression of leather images for automatic leather grading system using Multiwavelet**. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. Disponível em:.

LACERDA, D.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: A research method to production engineering. **Gestão & Produção**, 20, p. 741-761, 12/01 2012.

MOHAMMED, K. M. C.; S, S. K.; G, P. Defective texture classification using optimized neural network structure. **Pattern Recognition Letters**, 135, p. 228-236, 2020/07/01/ 2020.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. **Journal of Management Information Systems**, 24, n. 3, p. 45-77, 2007/12/01 2007.

SYSTEMHAUS. 2022. Disponível em: <https://systemhaus.com.br/>.