

# Construção de Sistemas Especialistas com Expert SINTA para Decisões e Treinamento em uma Linha de Produção

Paulo da Silva Sá<sup>1</sup>, André Marcos Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UNIFACCAMP – Centro Universitário Campo Limpo Paulista  
Jardim América, CEP 13231-230, Campo Limpo Paulista, SP – Brasil

dasilvasapaulo@gmail.com, andre@faccamp.br

**Abstract.** *This paper presents the proposal of an expert support system for employees, specifically machine operators, aimed at problem-solving and training, as an effort to improve the process of addressing common issues in an industrial production context. As technical and academic support, this project involves a facilitative platform for building the knowledge base and executing the system's decision-making processes. As a case study, this work explores a real laboratory to identify actual problems and validate the results obtained.*

**Resumo.** *Este artigo descreve a proposta de um sistema especialista de apoio para funcionários, operadores de máquina, na resolução de problemas e treinamento como uma tentativa de melhorar o processo de tratamento de problemas comuns em um contexto industrial de produção. Como apoio técnico e acadêmico este projeto envolve uma plataforma facilitadora para montagem da base de conhecimento e execução das tomadas de decisão do sistema. Como estudo de caso, este trabalho explora um laboratório real para identificação de problemas reais e validação dos resultados obtidos.*

## 1. Introdução

A impressão *dry offset* é uma técnica de impressão que combina elementos da impressão offset tradicional com a flexografia. Diferente da *offset* convencional, que utiliza água e tinta para transferir a imagem para o substrato, o *dry offset* dispensa o uso de água, aplicando diretamente a tinta no cilindro de impressão que, por sua vez, transfere a imagem para o material a ser impresso. Essa técnica é amplamente utilizada para a impressão em superfícies tridimensionais, como latas e tubos, devido à sua capacidade de oferecer alta qualidade de imagem e rápida produção. A impressão *dry offset* é conhecida por sua precisão e eficiência, especialmente em processos industriais que exigem volumes elevados de produção (Gale, 2008).

Operar uma máquina deste tipo de impressão não requer necessariamente um especialista na área, porém requer conhecimento técnico específico, ou seja, é importante que o operador tenha um treinamento adequado e experiência relevante para garantir que a máquina seja operada com eficiência e segurança (Kipphan, 2005). Muitas vezes pela difícil tarefa de encontrar mão de obra qualificada no mercado, empresas optam por treinar seus próprios colaboradores internamente e, muitas vezes, durante a jornada de trabalho. E principalmente neste modelo de treinamento, nem sempre designando um profissional especialista adequado para a tarefa de treinamento ou acompanhamento durante a aprendizagem prática.

Esta realidade faz com que organizações de produções convivam com vários problemas relacionados à especialidade dos operadores já envolvidos com uma jornada extenuante, cansativa e frenética. Muito desta característica está relacionada à falta de

tempo para treinamento ao mesmo tempo que precisam lidar com pressão e tomadas de decisões rápidas em cima de um processo nem sempre confiável e passível de anomalias. Principalmente por estar envolvido em um processo que pode sofrer muita interferência externa e reconfigurações constantes.

## **2. Objetivos e Metodologia**

Este trabalho propõe contribuir com soluções para problemas de uma linha de produção relacionados à tomada de decisão e treinamento mediante uma proposta de solução por meio da inserção de um sistema especialista (SE) na rotina caótica dos operadores de máquina em uma organização. Basicamente, esta proposta visa a pesquisa e proposta de um SE de apoio a resolução de problemas e treinamento operacional.

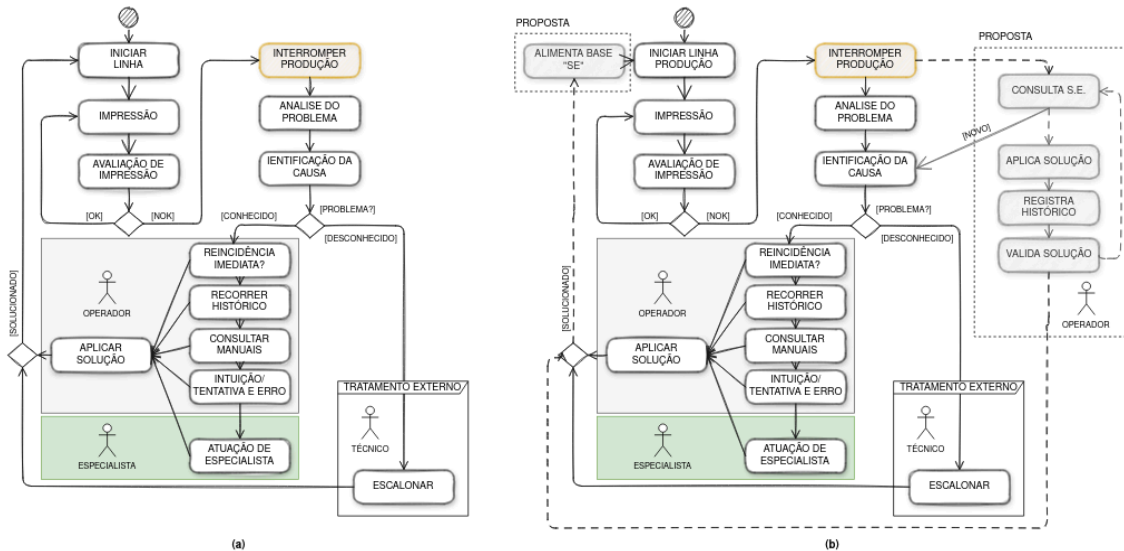
Como estudo de caso, este projeto envolve um ambiente real de produção numa indústria de tubos metálicos em larga escala, da grande São Paulo, que possui uma grande demanda de impressões do tipo *dry offset*, uma linha de processo bem definida, rotina, escala e uma grande equipe de operadores que convivem em um ambiente com várias anomalias e problemas de produção que em diversas situações atrapalham o fluxo de produção acarretando resultados indesejados pela empresa. Desta forma, contribuindo como um laboratório pertinente e real para as considerações e análises deste trabalho. Portanto, com base no conhecimento adquirido, da colaboração de especialistas da área envolvida, de manuais organizacionais e de históricos reais de produção, o sistema precisará informar possíveis soluções de problemas que surgem durante o processo, a fim de mitigar o tempo despendido no diagnóstico e na resolução dos problemas e, indiretamente, permitir uma base de treinamento inserida na rotina de trabalho.

Uma vez que o desenvolvimento do software é um objetivo indireto da proposta, este trabalho tem como metodologia técnica a consideração de plataformas que facilitam a construção deste tipo de sistema. Ou seja, é parte da proposta o experimento que envolve a possibilidade do uso da ferramenta Shell Expert SINTA como apoio ao processo de fornecer um SE adequado para o domínio considerado. Partindo da premissa que essa ferramenta deve facilitar o desenvolvimento, por ser de fácil utilização e não exigir que o desenvolvedor tenha conhecimento de alguma linguagem de programação ou qualquer formação técnica no desenvolvimento de software, bastando apenas que os envolvidos tenham domínio das informações específicas da produção e lógica proposicional básica envolvidas no fluxo de trabalho para impressões *dry offset*.

## **3. Proposta**

A definição da proposta de atividade prática deste projeto envolveu inicialmente uma etapa de estudo do ambiente atual da corporação tomada como estudo de caso. Esta etapa foi realizada ao longo de alguns meses de atividades de análise, identificação de problemas e mapeamento do processo atual de tomada de decisão para resolver problemas no dia a dia da organização. Além das estratégias de observação com e sem interação com as equipes de trabalho, também foram exploradas reuniões e entrevistas com especialistas e outros envolvidos, além de estudo baseado nos manuais e históricos de produção da empresa. A Figura 1.a mostra o processo atual, baseado em técnicas

empíricas para tomada de decisão dentro da equipe de trabalho. Este fluxo foi definido de forma orgânica, de dentro pra fora, pela própria equipe de trabalho de acordo com as lições aprendidas que iam sendo catalogadas conforme iam sendo conhecidas. E, a partir de um primeiro momento de tratamento, se transformam em regra, a partir de uma documentação baseada em histórico e lições aprendidas sem padronização nem protocolos de tratamento.



**Figura 1. Fluxo do (a) processo para resolução de problema atual e (b) com a interferência do sistema proposto**

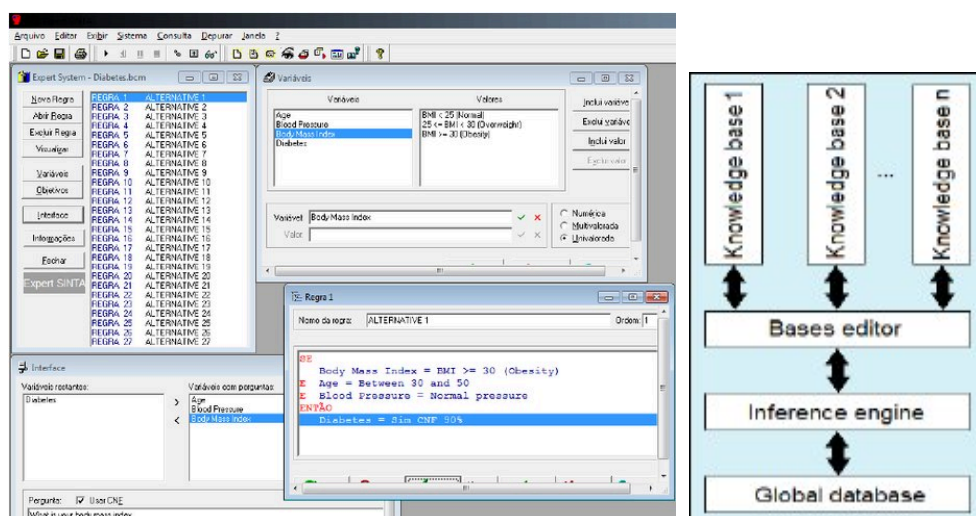
O processo proposto com a interferência do sistema e apoio à tomada de decisão é representado na Figura 1.b. Nesse processo (agrupamento pontilhado) deve existir um desvio do fluxo para as etapas a serem apoiadas pelo Expert SINTA, que em um fluxo básico, permite que o problema, já cadastrado no sistema, seja apresentado com sua solução mais pertinente. Caso a solução, por algum motivo não seja possível, a partir do SE, deve-se seguir as etapas tradicionais, com a alteração de que no fim do processo, uma vez solucionado o problema, as ações tomadas sejam inseridos na base de conhecimento do sistema como lições aprendidas, devidamente formatadas em regras, restrições e ações para o SINTA.

### 3.1. Ferramenta de apoio

Um sistema especialista é um software capaz de sugerir uma decisão, sustentada por conhecimento justificado, partindo de uma base de informações (Turban, *et al.* 2005). Basicamente são programas de computador que replicam o processo de tomada de decisão de especialistas humanos em domínios específicos. Eles utilizam uma base de conhecimentos, composta por regras e informações especializadas, para oferecer soluções e recomendações em situações complexas, apoiando assim a tomada de decisão de maneira eficiente e precisa. Além de servir como ferramentas de apoio, esses sistemas podem desempenhar um papel de "tutor", guiando os usuários através de processos decisórios, fornecendo explicações e justificativas para cada decisão sugerida, o que contribui para o aprendizado contínuo e o desenvolvimento das habilidades dos usuários na resolução de problemas (Giarratano e Riley, 2005).

A possibilidade da utilização de um SE para resolução de problemas no dia a dia de uma linha de produção pode trazer muitos benefícios para organização uma vez que contribui com o aumento da produtividade, redução de desperdícios e diminuição do tempo para entendimento e tomada de ações diante de problemas conhecidos, desde que sua execução esteja basicamente empregada no diagnóstico e resolução de problemas, no caso em que o operador ainda não esteja tecnicamente capacitado para a tarefa (Silva, Len e Freitas, 2013). Neste caso, o SE pode atuar como um técnico responsável por apoiar o operador no diagnóstico e resolução desses problemas e em um segundo plano servindo como um tutor, fazendo um papel mais didático em uma linha de produção carente de tempo livre para treinamento específico (Barreto e Prezoto, 2010).

O Expert SINTA (Sistema Inteligente para a Tomada de Decisão Avançada) é uma ferramenta *shell* que utiliza técnicas de Inteligência Artificial para geração automática desse tipo de sistema. A ferramenta utiliza um modelo de representação do conhecimento baseado em regras de produção e probabilidades tendo como objetivo principal simplificar o trabalho de implementação de SE's através de janelas (Figura 2.a) para *input* de dados, tais como regras e probabilidades iniciais. E, a partir de comandos, simplificam a ativação e o uso de uma máquina de inferência compartilhada, do tratamento probabilístico das regras de produção e da utilização de explicações sensíveis ao contexto da base de conhecimento modelada.



**Figura 2. Expert SINTA. (a) Principais telas do usuário e (b) representação do modelo de arquitetura (LIA, 2024)**

A arquitetura de um sistema especialista no Expert SINTA é constituída por uma base de conhecimento, que são fatos e regras utilizadas pelo especialista, um editor de bases para a implementação das bases desejadas, uma máquina de inferência (Figura 2.b) que utiliza o encadeamento para trás e é a parte do SE responsável pelas deduções sobre a base de conhecimentos, um banco de dados global, que são as evidências apontadas pelo usuário do SE durante uma consulta (Ferrari, *et. al.*, 2004).

Basicamente, na criação de um sistema de apoio à tomada de decisão, o usuário deve seguir algumas etapas na construção do SE: definir claramente o problema e coletar dados relevantes; em seguida, construir a base de conhecimento inserindo regras e informações necessárias para o sistema. Após isso, configurar o motor de inferência,

que processará as regras para gerar decisões. Testes e validações são essenciais antes da implantação, para garantir que o sistema funcione corretamente. Finalmente, após a implantação, o sistema deve ser monitorado e mantido continuamente, com atualizações conforme necessário para adaptar-se às mudanças organizacionais (LIA, 2024).

### 3.2. Protótipo

Para o desenvolvimento das regras do protótipo foi tomado como estudo de caso a operação da impressora Polytype em uma linha de produção que utiliza o processo de impressão *dry offset* para bisnagas de alumínio, tendo como objetivo mapear as ações do operador no diagnóstico e resolução dos problemas durante a produção.

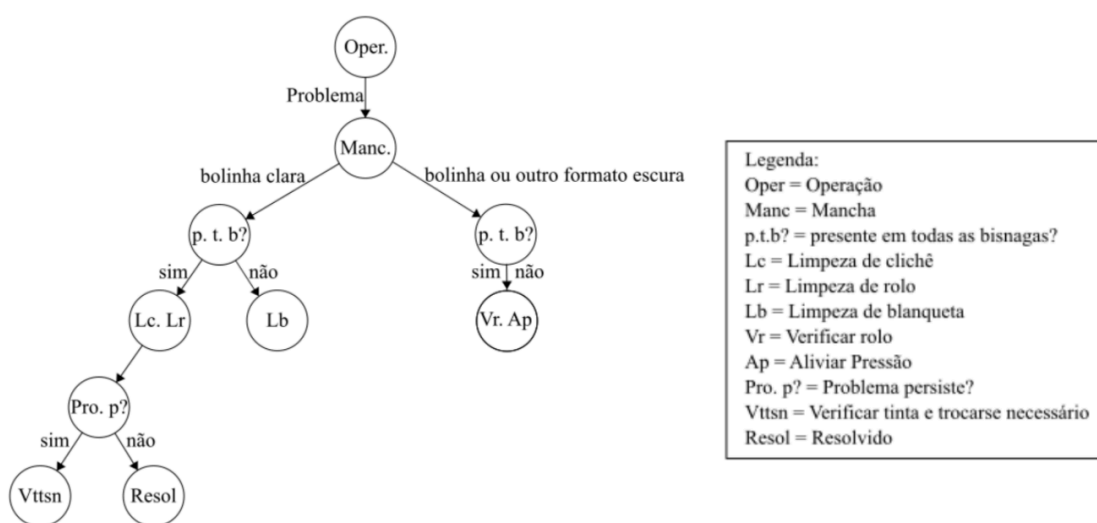
Durante a fase de análise e levantamento de conhecimento por imersão foram observados comportamentos e situações rotineiras na linha de produção. Em princípio, foram identificados e mapeados cinco principais problemas relativos a “*possíveis manchas no sólido impresso*”, relativos a manchas, porosidade, riscos na imagem e falhas no texto; suas descrições e frequência de ocorrências (Tabela 1).

**Tabela 1. Levantamento de problemas e mapeamento de possíveis soluções**

PROBLEMA	INCIDÊNCIA (MÉDIA)	ANÁLISE	CAUSAS (POSSÍVEIS)	SOLUÇÕES
manchas mostrando esmalte base da bisnaga	a cada 2 dias	“bolinhas” bem definidas na imagem	blanqueta ou clichês sujos; clichês furados;	efetuar limpeza de blanquetas, clichês ou rolos
			sujeiras nos rolos de tinta; contaminação leve da tinta;	trocar a tinta
manchas coloridas e espalhadas (descentralizadas)	a cada 2 dias, (geralmente após reconfiguração de máquina)	áreas manchadas com tons de tinta mais escuros	sujeira embaixo da blanqueta ou clichê causando relevo rolos de tinta rasgados ou furados	retirar sujeira do clichê ou blanqueta; ou substituir rolos danificados
			excesso de pressão de rolo entintador no clichê excesso de pressão de clichê na blanqueta	aliviar pressão do rolo entintador no clichê; ou aliviar pressão do clichê
porosidade	2 vezes na semana	aspecto de microporos na área impressa	viscosidade inadequada da tinta	adequar a viscosidade da tinta (diluir a tinta)
			rolos de tinta desgastado, sujos ou mal ajustados	trocar rolos desgastados; ajustar pressão de rolos;
			pressão das placas de impressão desajustadas	ajustar pressão das placas nos pinos
riscos na imagem	1 vez por semana	áreas com marcas bem definidas com ausência de impressão	danos físicos na blanqueta	substituir blanquetas danificadas;
			danos físicos no clichê	substituir clichês danificados
texto borrado	a cada 2 dias, (geralmente após reconfiguração de máquina)	texto mal definido dificultando a leitura	registro (encaixe) mal ajustado	ajustar o registro (encaixe das cores)
			excesso de pressão de rolo entintador no clichê	aliviar pressão do rolo entintador no clichê
			excesso de pressão de clichê na blanqueta	aliviar pressão de clichê na blanqueta
			excesso de carga de tinta	reduzir a carga de tinta

A partir do mapeamento conforme mostrado na tabela 1, a sequência de ações tomadas pelo operador para resolução dos problemas o mapeamento considerou apenas 2 possíveis soluções, distribuídas para as diferentes possíveis causas.

Para efeito de simplificação, nesta fase de prototipação foi isolada uma classe de problema, relacionada às manchas nos tubos impressos. Como os dois problemas levantados estão relacionados à possibilidade de “manchas”, na árvore de decisão (Figura 3), eles foram agrupados em uma classe (por exemplo, “manchas”), mas separados por formato e intensidade da cor. A primeira situação foi o surgimento de manchas claras na área de impressão. Essas manchas são semelhantes a pequenos círculos claros no impresso indicando obstrução na transferência da tinta para o objeto impresso. No segundo problema a mancha tinha aspecto escuro e em uma área impressa que deveria possuir somente uma cor estava manchada por outra cor. A partir dos problemas identificados, foram mapeadas as causas e suas possíveis soluções, de acordo com materiais de referência, observação em atuações de tratamento realizadas e a partir de informações de especialistas.



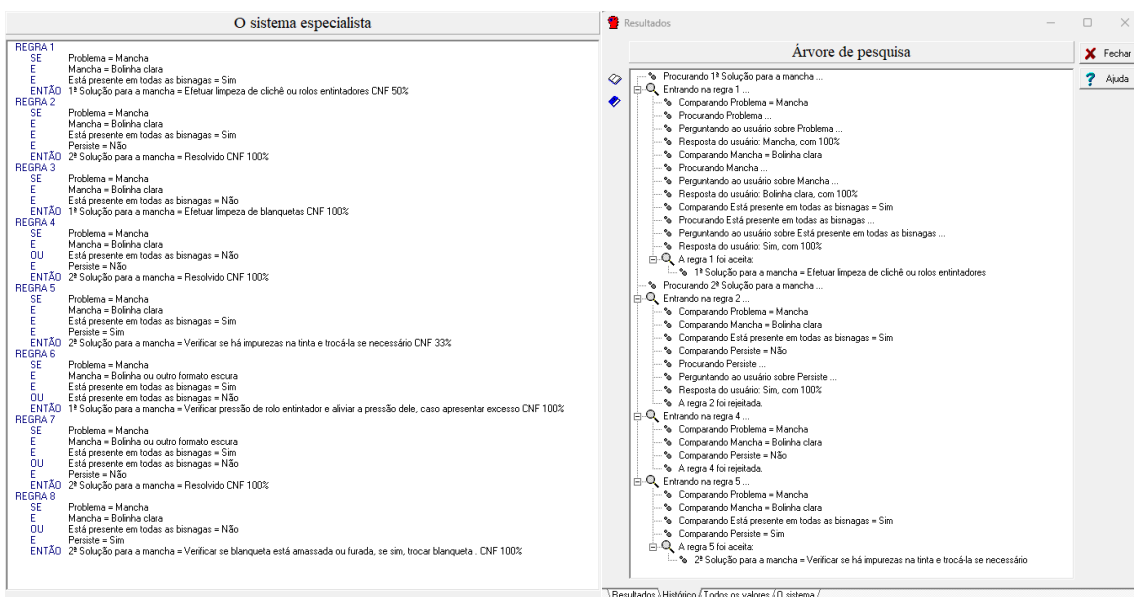
**Figura 3. Árvore de decisão para a solução de problema de mancha**

A partir da árvore gerada (Figura 3), uma série de regras foram criadas para que o motor de inferência do Expert SINTA seja capaz de por meio delas propor ao usuário a melhor opção de solução da mancha, dependendo de sua aparência e de sua frequência nos produtos impressos. Na Figura 4.a, temos um conjunto de regras criadas a partir da árvore mostrada anteriormente.

Para que as regras fossem implementadas no Expert SINTA, primeiro foi necessário a definição correta das variáveis, os valores que as mesmas poderão assumir e principalmente definir as variáveis objetivo. Variáveis objetivo são importantes pois sem suas respectivas definições o sistema não irá funcionar, mesmo que outras variáveis com seus valores estejam implementadas. A variável objetivo controla a maneira como a máquina de inferência se comporta e a resposta fornecida pelo sistema dependerá do objetivo a ser alcançado, por isso a importância da definição dessa variável.

Para este problema foi definido, através do editor de bases, as variáveis PROBLEMA, MANCHA, PERSISTENCIA, OCORRENCIA\_TODAS (indicando se está presente em todas as bisnagas) e as variáveis do tipo objetivo que são: SOL1\_MANCHA referente a primeira solução para a mancha e SOL2\_MANCHA referente a segunda solução para a mancha. Após serem definidos seus valores, foi possível criar cada regra aplicável

através dos menus de edição de regras e definir as variáveis que seriam acompanhadas das perguntas (requisições). Estas perguntas se tratam de pontos-chave, importantes na interação com o usuário, facilitando o uso da ferramenta por parte de usuários leigos quanto a tecnologia, mas conhecedores do domínio de aplicação. Boas perguntas farão com que o usuário forneça respostas mais consistentes e assertivas, e, desta forma, o sistema também pode apresentar respostas mais precisas. A Figura 4.b nos mostra a janela do Expert SINTA com o histórico de execução do protótipo após a aplicação de uma consulta.



**Figura 4. (a) Conjunto de regras e (b) registro de histórico do Expert SINTA**

A configuração inicial do sistema foi realizada por um especialista, enquanto um funcionário sem experiência em programação de sistemas especialistas foi introduzido à ferramenta. Notavelmente, foi observada uma facilidade e destreza por parte do funcionário na compreensão e uso do Expert SINTA, destacando-se a interface intuitiva e a clareza na apresentação dos resultados. Como consequência, verificou-se uma melhoria na eficiência na tomada de decisões, facilitando a implantação do sistema na linha de produção, que se mostrou produtiva e de fácil adoção.

### 3.3. Resultados preliminares

Esta etapa inicial do projeto foi realizada com resultados significativos. Durante um período de três meses, foi conduzida uma análise detalhada do domínio de aplicação, onde problemas recorrentes foram identificados e variáveis essenciais mapeadas para a configuração do sistema. Regras específicas foram criadas a partir de estudos de manuais e da observação das rotinas dos funcionários, e em seguida, testadas extensivamente.

Adicionalmente, era um objetivo indireto promover uma estratégia de treinamento. Ao configurar e alimentar o sistema com regras e soluções, foi observado um aprimoramento significativo no entendimento por parte do funcionário sobre as particularidades do processo. A experiência evidenciou que a utilização do Expert SINTA não apenas melhorou a performance na resolução de problemas, mas também se

estabeleceu como uma abordagem criativa e eficaz para promover o treinamento contínuo dos funcionários no ambiente de trabalho.

#### **4. Conclusão**

A realização deste trabalho vem permitindo uma real e rica experiência de integração entre as áreas de computação e a de produção industrial, especialmente na área de qualidade, alinhado diretamente com a diretoria responsável pela melhoria contínua organizacional. Apesar das várias dificuldades enfrentadas ao considerar um modelo real como estudo de caso, os resultados parciais encontrados têm sido bastante satisfatórios. O modelo encontrado e representação das informações através de um ambiente mais amigável para registro, manipulação e tomada de decisão em cima de um problema rotineiro já permitiu reconhecer um ganho de agilidade integrado à rotina dos operadores de máquina.

Como trabalho futuro já se tem mapeado os próximos passos para o projeto. A próxima atividade considera expandir este universo bem definido de problema de impressão para um maior grupo de funcionários, considerando também um maior tempo de implantação. E, a partir desta observação realizar uma análise dos resultados de melhor interesse corporativo.

#### **Referências Bibliográficas**

- Barreto, L.; Prezoto, M. (2010), "Introdução a Sistemas Especialistas". Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Tecnologia. Trabalho de Pós-Graduação. São Paulo, 2010.
- Ferrari, G. L., Argoud, F. I. M, e Azevedo, F. M. (2004), "Shell para Desenvolvimento de Sistemas Especialistas Fuzzy – Estudo de Caso:Gastroenterologia". IV Workshop de Informática aplicada à Saúde – CBComp 2004 Teses e Dissertações 2004.
- Gale, S.; (2008), "The Printing Ink Manual". 6th ed., Editoração Dordrecht: Springer, 2008.
- Giarratano, J. C.; Riley, G. D. (2005). "Expert Systems: Principles and Programming". 4th ed.. Editora Thomson, Boston 2005.Kipphan, H. (2005); "Manual de Tecnologia Gráfica". Editora Edgard Blücher; São Paulo, 2005.
- LIA (2024), "Manual do usuário - Expert SINTA", Laboratório de Inteligência Artificial, versão 1.1. [online] Disponível em <https://www.cin.ufpe.br/~fab/expertsinta/manual.pdf> ; acessado em junho de 2024.
- Silva, F. M.; Lenz, M. L.; Freitas, P. H. C., *et al.* (2013), "Inteligência Artificial" - 1ª ed. - Knuth, D. E. 2013.
- Turban, E.; Aronson, J. E.; Liang, T.. (2005), "Decision Support Systems and Intelligent Systems". 7th ed.. Editora Pearson Prentice Hall, New Jersey. 2005.