

# **Implantação de sistema AGV para coleta e transporte de material: estudo de caso em uma indústria de nãotecidos**

**Autor: Matheus Dutra Bortolozzo**  
matheus.bortolozzo@edu.pucrs.br, PUCRS, Brasil

**Orientador: Patrícia Flores Magnago**  
patricia.magnago@pucrs.br, PUCRS, Brasil

**Resumo:** O presente trabalho apresenta um estudo voltado para implantação de um sistema AGV para a coleta, movimentação e descarga, de *pallets* em uma indústria de nãotecidos em processo introdutório de práticas da Indústria 4.0. O objetivo foi avaliar se o sistema proposto atende a necessidade da planta além da viabilidade monetária em elaborar tal processo. Para o escopo analisado no estudo, o AGV demonstrou-se aplicável tecnicamente e com ganhos de qualificação do além de ganhos ergonômicos pela redução do número de movimentos manuais realizados pelo operador. O *payback* para a finalidade estudada foi de um ano e três meses, que se demonstrou muito bom para a empresa.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0, Implantação de Sistema AGV, Movimentação de carga e Viabilidade econômica.

## **1. Introdução**

A redução de custos é sempre um ponto de foco entre indústrias e cada vez mais estas estão considerando recursos tecnológicos para atingir esta finalidade. As margens para erros nas empresas ficam cada vez mais estreitas, como uma consequência de padrões de qualidade cada vez maiores (DEUS, 2009). A indústria 4.0, através da automação e da otimização, visa aumentar a produtividade e busca reduzir tais custos e perdas, aumentando a lucratividade, além de prevenir erros e atrasos e, por consequência, aumentar a velocidade de produção. Os benefícios da indústria 4.0 podem ser encontrados em transportes inteligentes, construções inteligentes e até cidades inteligentes e tem como principal objetivo tornar todo o ecossistema industrial mais rápido, autônomo, eficiente e centrado no cliente (RONCHI, 2022).

Especificamente a automatização consiste na substituição da atividade manual realizada pelo ser humano pela automática realizada por um robô ou uma máquina dentro de um processo produtivo (PEREIRA, 1995). De modo complementar, a aplicação de dispositivos mecânicos e eletrônicos é utilizada para controlar máquinas e processos, geralmente com o objetivo de substituir atividades humanas ou realizar outras que o homem não é capaz de executar com segurança e qualidade (FERRELLI, 2015). Neste contexto, a automação é uma importante ferramenta para otimizar os processos de uma empresa e mantê-la competitiva no mercado, bem como meio de aprimorar o valor agregado da mão de obra dos colaboradores nas atividades.

Por exemplo, o transporte de materiais realizado pelos colaboradores entre o estoque e a linha de produção, pode ser visto como uma tarefa clássica da falta de valor agregado ao

produto (SOUZA; ROYER, 2013). O aperfeiçoamento do transporte de materiais e um melhor aproveitamento da mão-de-obra podem ser artifícios indispensáveis para o crescimento da competitividade. Nesta linha, um dos equipamentos cada vez mais utilizados para otimizar os transportes de materiais são os veículos guiados automatizados, do inglês *Automated Guided Vehicle* (AGV).

Esse veículo é definido como um robô móvel que segue marcadores ou fios no chão e pode utilizar sistema de visão, ímãs ou lasers para navegação. Os AGVs podem ser classificados pelo sistema de navegação, que pode ser de caminho fixo ou caminho aberto, de acordo com Yao (2018). O AGV de caminho fixo é obrigado a seguir os sistemas de referência localizados ao longo da rota, normalmente representados por fios ou fitas enterradas, enquanto o AGV de caminho aberto não possui sistemas de referência ao longo da rota, eles são armazenados na memória de bordo do veículo. Este veículo pode ser acionado por laser, características inerciais, naturais, orientação visual ou geográfica. Os AGVs podem transportar simultaneamente uma ou mais cargas unitárias. Uma carga unitária é definida como uma série de itens que podem ser manipulados como um único objeto dentro do armazém ou centro de distribuição e uma unidade de carga pode ser um *pallet* ou um contêiner. Atualmente AGVs são usados em sistemas de logística em diferentes tipos de empresas industriais e linhas de comércio e podem também ser encontrados em terminais de transportes de carga, se demonstrando confiáveis e eficientes durante as últimas décadas (NERADILOVA; FERDOKO, 2017).

A questão de pesquisa deste estudo é: existe a possibilidade de implantação de um sistema AGV na movimentação de carga interna de uma empresa de não tecidos? O objetivo geral deste trabalho é: analisar a implantação deste sistema dentro de uma indústria produtora de não tecidos. Portanto visando a modificação de um trabalho atualmente realizado de forma manual pelos operadores para um sistema com AGVs. Este trajeto é o que transporta material remanescente oriundo de uma parte do processo para reutilização em outra etapa da produção do material. Mais detalhes sobre o processo como um todo são explicados ao longo deste trabalho. A implantação de tal modelo vai ao encontro do que a empresa analisada busca em relação às práticas da Indústria 4.0. Os objetivos específicos são (i) avaliar se o sistema atende ao escopo, em relação aos tempos de descolamento; (ii) avaliar a viabilidade monetária da implementação.

Um fato importante a ser levantado é que o movimento atualmente realizado por operadores não é totalmente ergonômico, exigindo posturas com inclinações e torções da lombar, e a substituição deste trabalho braçal por uma máquina é um ponto favorável ao investimento para implantar o novo sistema. Outro fato importante e delimitador do estudo é

que a tecnologia de AGVs já ocorreu em um processo decisório na alta direção da empresa, portanto seu uso é uma premissa no projeto de implementação. Outra delimitação é o fato de a viabilidade ser específica ao processo indicando, não permitindo flexibilidade para outros processos. Serão analisadas quaisquer oportunidades de realocação de funcionários caso o sistema seja implementado, mas foge do escopo deste trabalho.

## **2. Procedimentos Metodológicos**

Esta seção se propõe a descrever as características do método abordado para realização do estudo. Para tanto dividiu-se entre método de pesquisa, em que se classifica o trabalho conforme os critérios pertinentes à análise, e método de trabalho, no qual se determina o problema e apresenta a abordagem teórica para resolução deste.

### **2.1. Método de pesquisa**

A natureza deste estudo é aplicada pois, conforme explica Gil (2017), busca a aquisição de conhecimentos com o propósito de utilização em uma situação específica. Já em relação ao objetivo, esta pesquisa figura como exploratória uma vez que, como define o autor, tem como meta gerar maior familiaridade com o problema vivenciado pela empresa por meio da construção de hipóteses. No que diz respeito ao tempo, tem classificação longitudinal, pois ocorre em um longo período, acompanhando uma empresa e um processo, e permite comparações antes e depois, como descreve Silva (2001). Para tanto, como procedimento, faz uso do estudo de caso, pois o trabalho, como detalha Yin (2002), envolve o estudo profundo de um ou poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento e assim, procura descobrir o que há nela de mais essencial e característico.

Quanto à abordagem o estudo classifica-se como quali-quantitativo, que é a união do enfoque qualitativo com o quantitativo. Para Ensslin e Vianna (2008), os estudos de processo, particularmente quando combinados a estudos longitudinais, apontam como melhor escolha metodológica a pesquisa quali-quantitativa, principalmente considerando que processos estudados na área de engenharia de produção caracterizam-se pela existência de diversos fatores que ainda não possuem uma escava de aferição de desempenho. Pesquisa quali-quantitativa pode ser utilizada para examinar melhor questões pouco estruturadas, problemas que envolvem atores, contextos e processos, também segundo Ensslin e Vianna (2008). A fim de ilustrar as classificações utilizadas no método de pesquisa, se desenvolveu a tabela ilustrada na Figura 1.

Figura 1 – Classificação do Método de Pesquisa

Tópico	Classificação
Natureza	Aplicada
Objetivo	Exploratória
Tempo	Longitudinal
Abordagem	Quali-quantitativa
Procedimento	Estudo de Caso

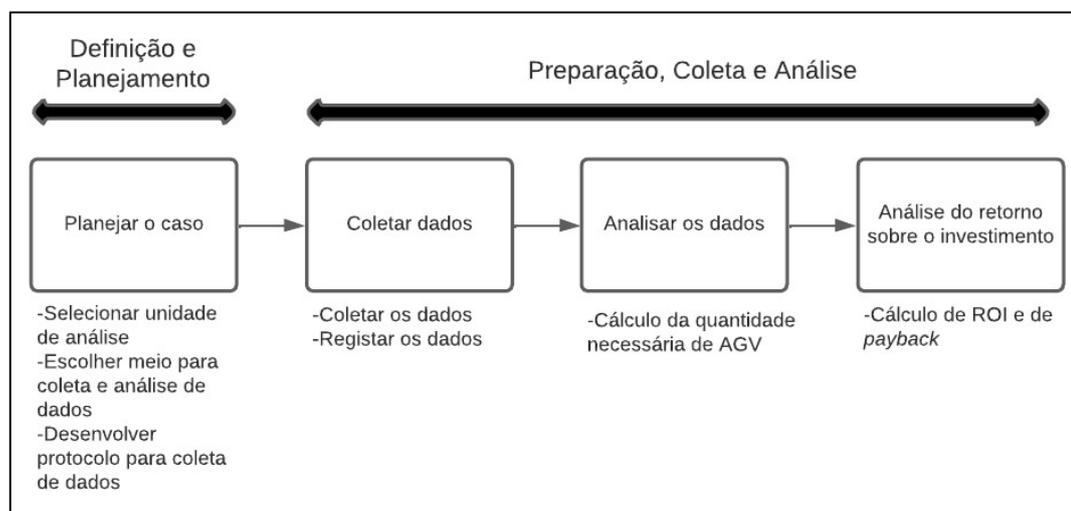
Fonte: Autor

## 2.2. Método de trabalho

Yin (2002) define caso com um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto de vida real. Tal estudo se constitui numa investigação empírica que analisa o caso ou os casos, abordando questões “como” ou “por quê” relativamente ao objeto de interesse. O caso definido para o estudo em questão é de implantação de um sistema AGV para coleta e transporte de material para reciclagem. O estudo visa determinar o número teórico de veículos necessários para atender a demanda da planta e analisar a viabilidade financeira deste escopo. A viabilidade é analisada através de cálculo de *payback* e de cálculo do Retorno Sobre Investimento, que é a relação entre os ganhos gerados e os investimentos realizados. Os cálculos referentes ao ROI são utilizados para entender os ganhos que a empresa terá investindo em uma nova tecnologia ou implementando um novo projeto (PHILLIPS; ZUNIGA, 2008).

A execução do trabalho em foco configura-se na aplicação de um estudo de caso, composto em três etapas, adaptando abordagem de Yin (2002) e Croom (2005): (i) Definição e Planejamento, onde se determina o escopo do projeto e os dados a serem estudados a fim de se chegar ao resultado; (ii) Preparação, Coleta e Análise, momento em que as informações necessárias para a análise são reunidas e estudadas; (iii) Análise e Conclusão, que consiste na análise dos resultados e no caso deste trabalho no cálculo do retorno sobre o investimento.

Figura 2 – Etapas do Método de Trabalho



Fonte: Adaptado de Yin (2002) e Croom (2005)

### **2.2.1 Planejar o caso**

O projeto, segundo Yin (2002), se refere a sequência lógica que liga os dados empíricos às questões iniciais de investigação de um estudo e finalmente, às suas conclusões. O projeto de pesquisa do estudo de caso é composto por cinco elementos: questões de um estudo; suas proposições, se houver; sua(s) unidade(s) de análise; a lógica que une os dados às proposições e os critérios de interpretação dos resultados. Ao esboçar a investigação, o pesquisador deve ter certeza de que esses componentes estão coesos e coerentes entre si. Nesta etapa se definem os dados a serem coletados necessários para se chegar a um resultado no final.

### **2.2.2 Coletar dados**

A partir de várias fontes que capturam o caso na sua complexidade e totalidade, cabe ao pesquisador do estudo de caso desenhar seus dados. Essa é a visão de Yin (2002) e compartilhada por Stake (1995) e Merriam (1998). O primeiro, diferentemente dos outros que sugerem o uso exclusivo de dados qualitativos, defende o uso da combinação de fontes de evidência quantitativa e qualitativa.

A coleta de dados é influenciada pelas habilidades do investigador do estudo de caso, treinamento para um estudo de caso específico, desenvolvimento de um protocolo para a investigação, triagem dos candidatos ao estudo de caso (tomada de decisão final sobre a seleção do caso) e a realização de um estudo-piloto (YIN, 2002).

Pesquisadores do estudo de caso fazem uso de seis ferramentas de coleta de dados: documentação, registros em arquivo, entrevistas, observações diretas, observação participante e artefatos físicos (YIN, 2002). Pelo viés do estudo analisado neste trabalho, a principal ferramenta utilizada é a de observação direta através do acompanhamento do processo da maneira como é realizado atualmente e entrevistas com funcionários para coleta dos dados necessários referentes a tempos das máquinas. Na Figura 3 tem-se uma síntese deste processo de observação direta. Através das conversar e da observação do funcionamento das máquinas, se pode analisar os tempos necessários para atender ao processo.

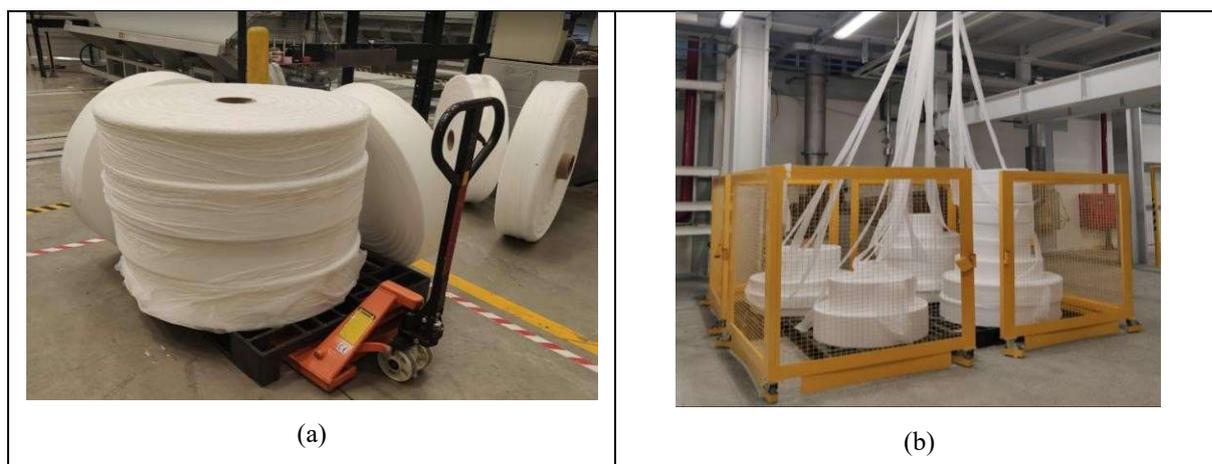
Figura 3 – Síntese do processo de observação direta

Período de Observação:	De Setembro a Dezembro de 2023
Turno:	Horário Comercial
Envolvidos	Três
Cargo (1)	Operador
Formação (1)	Ensino Médio Completo
Tempo de Empresa (1)	3 anos
Cargo (2)	Especialista
Formação (2)	Superior Completo
Tempo de Empresa (2)	4 anos
Cargo (3)	Gerente
Formação (3)	Superior Completo
Tempo de Empresa (3)	15 anos

Fonte: Autor.

A empresa analisada, neste estudo, é especializada na produção de não tecidos para uso em produtos descartáveis médicos. O processo avaliado é o de transporte de material remanescente oriundo do processo de corte, exemplificado na Figura 4(a), para reutilização deste na fabricação de novas boninas de não tecido, demonstrado na Figura 4(b).

Figura 4 – Material oriundo do corte (a) e sendo erguido para reutilização (b)



Fonte: Autor.

Atualmente a fábrica analisada possui três máquinas de corte e duas máquinas de extrusão que podem reutilizar o resíduo dos cortes. Esse processo é realizado de maneira manual por um operador, que deve se deslocar da função que está exercendo, pegar uma paleteira, que pode estar sendo utilizada em outra tarefa. Em suma, é uma função que demanda um tempo de operação, que muitas vezes o colaborador não possui.

Para este estudo os dados analisados e que ponderam o uso dos AGVs são: Quantidade de resíduo fabricado por hora e quantidade de resíduo reutilizado por hora. As opções de caminhos foram analisadas de maneira a se obter a melhor escolha. O *layout* da fábrica, assim como as opções de trajetos para estudo estão indicadas na Figura 5.

Figura 5 – Layout da fábrica e opções de trajeto



Fonte: Autor.

Para melhor entendimento das opções, foi desenvolvida a Tabela 1 que demonstra os trajetos possíveis de estudo para implementação do AGV. As cores indicam o trajeto percorrido. O ponto de coleta está representado pelo numeral “1” enquanto o ponto de descarga pelo numeral “2”. Como existe mais de uma possibilidade de descarregamento o código ainda contém uma letra na sequência: “a” ou “b”. Para melhor visualização e entendimento, cada trajeto (saindo do mesmo ponto de coleta), está representado por uma cor.

Tabela 1 – Trajetos possíveis para o AGV

Trajeto	Ponto de coleta	Código utilizado	Ponto de descarga	Código utilizado
1	Corte 1	A1	Extrusora 1	A2a
2	Corte 1	A1	Extrusora 2	A2b
3	Corte 2	B1	Extrusora 1	B2a
4	Corte 2	B1	Extrusora 2	B2b
5	Corte 3	C1	Extrusora 1	C2a
6	Corte 3	C1	Extrusora 2	C2b

Fonte: Autor.

### 2.2.3 Analisar os dados e gerar relatório

Segundo Yin (2002), a análise consiste no exame, na categorização, na tabulação, no teste ou na recombinação de evidências quantitativas e qualitativas de outra forma para abordar as proposições iniciais do estudo. Nessa fase, os dados antes coletados são agora ponderados visando uma resposta ao estudo.

Visando a determinação do número teórico de veículos, utilizou-se de equações matemáticas que consideram informações de local de partida, destino, quantidade de cargas transportadas por um tempo definido, entre outros dados. Para facilitar a compreensão das atividades planejadas, é comum utilizar ferramentas visuais durante o estudo, como a tabela de-para e o diagrama de rede (GROOVER, 2008). A tabela “de-para” é uma tabela alimentada por informações relevantes para a análise, por exemplo, distância entre estações ou tempo de deslocamento. As estações de carga são elencadas na coluna da esquerda, enquanto as de descarga na linha superior. O diagrama de rede é outra maneira de apresentar essas mesmas informações.

A quantidade de AGVs no sistema deve atender a demanda solicitada. Segundo (GROOVER, 2008), para o cálculo do número de veículos no sistema,  $n_c$ , se deve calcular a carga de trabalho existente,  $WL$  (minutos/hora) e relacionar ela com a disponibilidade de cada veículo,  $AT$  (minutos/hora/veículo), conforme

$$n_c = \frac{WL}{AT} \quad (1)$$

A carga de trabalho é calculada através da multiplicação da quantidade de entregas feitas por hora,  $R_f$  (entregas/hora) pelo tempo de ciclo das rotas definidas,  $T_C$  (minutos/entrega). A quantidade de entregas por hora parte da demanda necessária. A carga de trabalho é modelada por

$$WL = R_f T_C \quad (2)$$

o tempo de ciclo das rotas resulta de diferentes fatores: Tempo de carga,  $T_L$  (min); tempo de descarga,  $T_U$  (min); distância percorrida com carga,  $L_d$  (metros); velocidade do veículo carregado,  $v_c$  (m/min); distância percorrida sem carga,  $L_e$  (metros) e velocidade do veículo descarregado,  $v_o$  (m/min). Assim, o tempo de ciclo pode ser modelado por

$$T_C = T_L + \frac{L_d}{v_c} + T_U + \frac{L_e}{v_o} \quad (3)$$

O tempo disponível por veículo,

$$AT = 60AF_t \quad (4)$$

é onde as possíveis não idealidades da movimentação e do e do processo são consideradas. Fatores de congestionamento,  $F_t$ , como cruzamentos ou interferências de pedestres, são incluídos no cálculo da variável. Se não houver interferências,  $F_t = 1,0$ . Da

mesma maneira, o tempo de manutenção ou o tempo de carga da bateria de um veículo reduzem a disponibilidade dele,  $A$ . Onde não ocorrem interferências deste tipo,  $A = 1,0$ .

A fim de calcular a viabilidade de implementação do sistema analisado, se calculou o *payback*, com o intuito de compreender o retorno do investimento. Para este cálculo foi utilizado orçamento de companhia especializada em AGVs e valores aplicados dentro da empresa. Além do cálculo do *payback*, também foi aplicado o cálculo do Retorno Sobre o Investimento, o ROI (*Return of Investment*). Segundo (PHILLIPS; ZUNIGA, 2008), o cálculo o Retorno Sobre o Investimento pode ser obtido por

$$ROI = \frac{\text{Lucros}}{\text{Custos}} \times 100\% \quad (5)$$

### 3. Resultados

Conforme referido anteriormente, o estudo foi dividido em etapas. Desta forma a seção está segmentada de maneira a esclarecer da melhor maneira o estudo. Cada etapa contém uma apresentação detalhada dos resultados obtidos no decorrer do trabalho. Importante expressar que não estão sendo levados em conta nos cálculos normas de espaçamento e de segurança.

#### 3.1 Projeto do estudo de caso

Ao aplicar uma nova tecnologia em uma indústria, é necessário considerar as questões técnicas e as financeiras. Deve-se avaliar se a tecnologia atende as necessidades e o ambiente onde será implantada. Além disso se a solução deve gerar um retorno financeiro em relação a situação atual. Se um destes fatores não for positivo, não há motivo para implantação da inovação. A proposta deste estudo é substituir o trabalho hoje realizado manualmente por veículos automaticamente guiados.

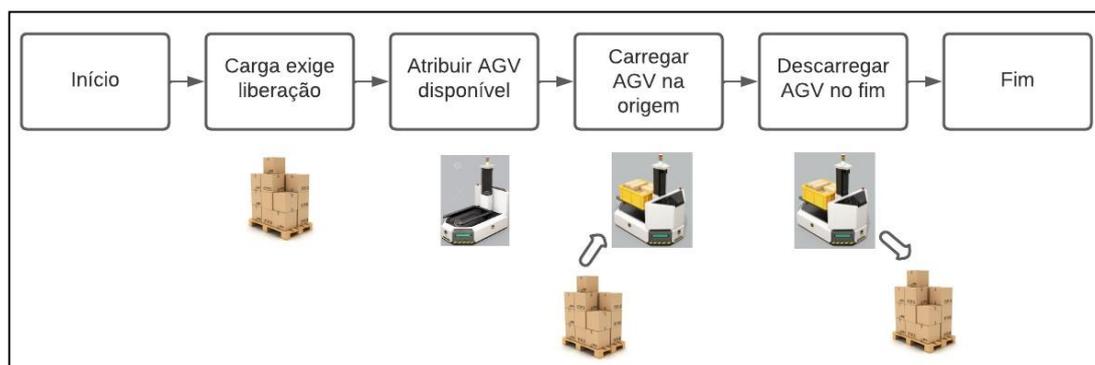
Para fins de comparação do modelo atual com o modelo proposto levantou-se as informações sobre o modelo empregado atualmente, em que a movimentação é realizada de forma manual por um operador. O custo deste modelo é o salário do operador. Indicadores produtivos também foram ponderados com o intuito de um estudo mais assertivo.

Para quantificação dos AGVs foi levado em conta a necessidade do processo produtivo para suprir a demanda. Foi considerada a produção diária de aparas da máquina de corte, assim como a necessidade deste material pela máquina que a reutiliza. Com essas informações foi possível estimar a necessidade de AGVs para atender o processo de forma satisfatória. Após a coleta de dados, foi possível analisar e comparar os modelos, atual e proposto. Para os custos de implementação e dimensionamento do AGV, foi feita uma consulta junto a uma empresa

fornecedora. Neste estudo não vão ser considerados gastos com combustível, e foi desconsiderado o gasto com energia para recarregar os equipamentos. Também não foi considerado gastos com manutenção.

O princípio de funcionamento dos AGVs, segundo Yao (2018) segue as etapas descritas na Figura 6. Estas etapas serão respeitadas para desenvolvimento do estudo.

Figura 6 – Etapas do funcionamento do AGV



Fonte: Adaptado de Yao (2018).

Os AGVs deverão executar a tarefa de buscar pallets de material nas máquinas de corte e levá-las até as máquinas formadoras de material, para serem reaproveitados. Essa atividade deve respeitar o tempo, de maneira a não interromper ou atrasar a produção. As rotas devem atender as diferentes demandas de geração de material. Além disso, há um fluxo considerável de pessoas e outros equipamentos pelo chão da fábrica. Isso pode interferir no funcionamento do AGV e deve ser considerado no estudo.

### 3.2 Desenvolvimento da Solução

Nesta seção foi realizado um estudo do layout da planta e das rotas nas quais os veículos irão transitar para, posteriormente, estimar-se a quantidade de necessária para atender a demanda do projeto.

#### 3.2.1 Análise das Rotas

As rotas de movimentação, devem passar pelos pontos de descarga para realizar o descarregamento e voltar para os pontos de coleta para busca de novos materiais. A Figura 7 apresenta o layout com as vias de movimentação dos AGVs, saindo do ponto A1, a Figura 8 apresenta saindo do ponto B1 e a Figura 9, saindo do ponto C1.

Figura 7 – Layout com rotas e distâncias saindo do ponto A1.



Fonte: Autor.

Figura 8 – Layout com rotas e distâncias saindo do ponto B1.



Fonte: Autor.

Figura 9 – Layout com rotas e distâncias saindo do ponto C1.



Fonte: Autor.

Veículos guiados automaticamente podem se movimentar em vias unidirecionais ou bidirecionais (GASKINS; TANCHOCO, 1987). A planta estudada possui espaço suficiente para comportar rotas bidirecionais, sendo esta a adotada. O ponto de coleta é ao lado da máquina de corte. Este local possui espaço para até dois *pallets*, sem que atrapalhe a produção e é próximo ao local onde se retiram as aparas após finalização do corte. Este local pode ser visto pela Figura 4a, apresentada anteriormente.

O AGV irá identificar que a posição está carregada e irá até o ponto para coleta. Uma vez carregado, o AGV irá para o local de descarga. O ponto de descarregamento tem espaço para até quatro *pallets*, sem que atrapalhe outras movimentações necessárias para produção. Este local pode ser visto na Figura 4b, também apresentada anteriormente. Caso haja neste ponto de descarga algum *pallet* sem produto, o AGV pegará este utensílio e o levará até a posição de carga para novo carregamento.

### 3.2.2 Cálculo do tempo de Ciclo

Na Tabela 2 estão elencadas as metragens para movimentação entre os pontos de coleta e descarga. Para fins de cálculo, a distância contrária terá o mesmo valor. Como já detalhado, para calcular o tempo de ciclo é necessário considerar tempo de carga, de descarga e de deslocamento. Todavia, para um resultado mais próximo da realidade, é necessário considerar

um tempo maior para realizar curvas do que para trajeto retilíneo. Na Tabela 3 estão as quantidades de curvas por trajeto. Para quantificar estes valores, utilizou-se como referência as definições do sistema MTM (*Method-Time Measurement*), (KARGER; BAYHA, 1987). Na Tabela 4, estão apresentados os valores considerados neste estudo.

Tabela 2 – Tabela de-para com distâncias de movimentação do AGV (em metros)

	<i>De</i>	<i>Corte 1</i>	<i>Corte 2</i>	<i>Corte 3</i>
<i>Para</i>	<i>Extrusora 1</i>	89,80	117,24	139,06
	<i>Extrusora 2</i>	86,31	66,32	88,17

Fonte: Autor.

Tabela 3 – Tabela de-para com quantidades de curvas (c) do AGV

	<i>De</i>	<i>Corte 1</i>	<i>Corte 2</i>	<i>Corte 3</i>
<i>Para</i>	<i>Extrusora 1</i>	3	5	5
	<i>Extrusora 2</i>	3	1	1

Fonte: Autor.

Tabela 4 – Definições de tempo do sistema MTM

<i>Atividade</i>	<i>Duração (seg)</i>	<i>Duração (min)</i>
Curva de 90°	3,31	0,06
Carga 	13,25	0,22
Descarga 	10,26	0,17

Fonte: Autor.

Com essas informações, se calcula o ciclo de rotas a partir da Equação 6, que é uma adaptação da Equação 3, levando-se em conta as ponderações apresentadas. Considera-se que a velocidade do veículo é a mesma para situações com ou sem carga. O tempo para curvas está apresentado como  $T_{curva}$ .

$$T_C = T_L + \frac{L}{v} + T_U + cT_{curva} \quad (6)$$

A velocidade máxima de um AGV deve ser de 1 m/s, segundo a norma VDI 2510, a fim de garantir a segurança do ambiente. Os resultados dos Tempos de Ciclo estão apresentados na Tabela 5. O Tempo de ciclo está considerando também o retorno para o ponto de coleta.

Tabela 5 – Tabela de-para com Tempo de Ciclo (min)

	De	Corte 1	Corte 2	Corte 3
Para	Extrusora 1	3,72	4,85	5,58
	Extrusora 2	3,60	2,71	3,44

Fonte: Autor.

### 3.2.3 Cálculo de Demanda e Carga de Trabalho

O veículo terá capacidade de carga para até 600 kg sobreposto sobre ele (valor consultado junto com empresa fornecedora). Como o *pallet* utilizado pesa em torno de 35 kg, restando ainda 565 kg de material. A fins de cálculo, será utilizado o valor máximo de quatro bobinas por *pallet*. Valor maior que este representaria uma insegurança no transporte, pois acumularia muito material sobre o equipamento.

O tempo para geração de aparas está diretamente ligado ao tempo de realização do processo de corte. O intuito do trabalho não é explicar como este procedimento funciona, mas destaca-se que o tempo para geração de cada corte varia de acordo com o diâmetro do material e da gramatura com o qual ele foi produzido. Para cálculo, neste trabalho, se adotou que o processo leva vinte minutos, um valor médio identificado observando o processo e em consulta com operadores, e que a produção se mantém com uma estabilidade constante. Cada corte gera duas aparas que serão empilhadas e transportadas para a extrusora, para reuso. O peso da apara também varia, mas em média é de 50kg por apara. Logo, a quantidade de material gerado no corte é de 100 kg a cada 20 minutos, o que produz 300 kg por hora. Esse valor vale para as três máquinas de corte.

Na extrusora, o tempo demandado de material também não é constante, variando dependendo das especificações do material a ser produzido. Em média a quantidade de material reciclado é de 200 kg por hora, considerando uma constância na produção. Este valor vale para as duas máquinas de extrusão. Na Tabela 6 é detalhado quanto material é demandado por hora em cada extrusora e quanto os cortes entregam para o mesmo período (Carga Unitária). A fins de cálculo foi considerado que as extrusoras demandarão, por igual, material oriundo dos Cortes. A quantidade de entregas por hora é obtida a partir da razão entre a demanda e a carga unitária.

Tabela 6 – Demanda por material

Material oriundo dos Cortes	Demanda por hora para as duas Extrusoras (kg)	Carga Unitária (kg)	Entregas por hora ( $R_p$ )
Corte 1	133,33	300,00	0,44
Corte 2	133,33	300,00	0,44
Corte 3	133,33	300,00	0,44

Fonte: Autor.

Com o tempo de ciclo por rota e quantidade de entregar por hora definidos, é possível calcular a carga de trabalho por rotas, WL. A Tabela 7 apresenta esses resultados. Como no cálculo anterior os resultados foram apresentados para as duas extrusoras, agora o valor de Entregas por hora foi dividido entre as duas.

Tabela 7 – Carga de Trabalho das rotas

<i>Rota</i>	<i>Tempo de Ciclo (min)</i>	<i>Entregas por hora</i>	<i>Carga de Trabalho (min/h)</i>
1	3,72	0,22	0,826
2	3,60	0,22	0,800
3	4,85	0,22	1,078
4	2,71	0,22	0,603
5	5,58	0,22	1,240
6	3,44	0,22	0,765

Fonte: Autor.

### 3.2.4 Cálculo do número de Veículos

Para definir-se a quantidade de veículos para atender a demanda do sistema é necessário, além dos valores calculados anteriormente, definir valores de disponibilidade e de fator de tráfego. Decidiu-se utilizar valores padrão para essas variáveis. Segundo Fitzgerald (1985, p. 79), o fator de tráfego de um sistema de AGVs bem projetado é entre 0,85 e 1,0. Neste estudo será usado o valor 0,95. Além dos próprios AGVs, ainda tem o tráfego normal da planta.

Para os valores de disponibilidade, considera-se o impacto que o tempo de carga das baterias tem no sistema. Essa variável depende de diversos fatores. Definiu-se que o valor utilizado é de 0,85. Com estes apontamentos, se estimou a quantidade de veículos por rota,  $n_c$ . A Tabela 8 apresenta esses resultados. Somando os valores de  $n_c$  e arredondando para cima, estima-se que um veículo irá suprir o processo.

Tabela 8 – Número de veículos por rota

<i>Rota</i>	<i>Número de Veículos</i>
1	0,017
2	0,017
3	0,022
4	0,012
5	0,026
6	0,016

Fonte: Autor.

### 3.3 Análise do retorno sobre o investimento

Anteriormente foram apresentados os cálculos utilizados para determinar-se a quantidade de veículos necessária para atender ao processo apresentado. Todavia deve-se comparar com o modelo atual implantado na planta, a fim de decidir-se ou não pela substituição.

Apesar dos veículos guiados automaticamente serem um grande avanço em questão de tecnologia e de também trazerem benefícios intangíveis em questão de segurança e ergonomia, o investimento só será realizado se for benéfico para empresa. Para avaliação do investimento foi calculado o retorno sobre investimento, o ROI, comparando dois modelos: o atual, com operador realizando movimento manualmente e o proposto com um AGV.

O custo para desenvolver o sistema proposto foi levantado junto a uma empresa especializada. O valor para compra e comissionamento de um veículo, seguindo as características informadas é de aproximadamente R\$ 300.000,00. Consultando o RH da empresa, o valor médio desembolsado pela empresa, considerando férias, 13º salário e outros gastos, é de aproximadamente R\$ 5.000,00 por mês com um funcionário para realizar o serviço manualmente. Considerando que a fábrica funciona 24 horas por dia e sete dias por semana, sendo necessário assim quatro turnos de trabalho, o gasto da empresa é de R\$ 20.000,00 por mês. Aplicando a Equação 5, apresentada anteriormente, considerando o Lucro como a economia obtida a partir da redução da mão-de-obra dedicada obtém-se as estimativas de retorno detalhadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Retorno sobre investimento ao longo dos meses

Mês	ROI
1	7%
2	13%
3	20%
4	27%
5	33%
6	40%
7	47%
8	53%
9	60%
10	67%
11	73%
12	80%
13	87%
14	93%
15	100%

Fonte: Autor.

Observa-se que após 15 meses de implementação a empresa apresenta um lucro igual ao investindo. Isso indica que o *payback* do investimento só se destaca após esse período, o que é um período bem satisfatório. Esse intervalo pode ser ainda menor considerando uma possível

solução para diminuição do tempo ocioso do AGV em alguma outra tarefa de transporte dentro da fábrica.

A empresa possui a prática de, em caso de *payback* menor que dois anos, realizar o investimento. Portanto como o estudo se encaixa neste caso, além de estar alinhado com boas práticas de Indústria 4.0, o investimento se demonstra muito vantajoso e totalmente aplicável.

#### **4. Considerações finais**

Em relação ao objetivo geral, o estudo fez uma análise de implantação de um sistema de AGV para movimentação de carga dentro de indústria produtora de têxteis. O trabalho revelou que esta implantação é viável e muito vantajosa para empresa. Os objetivos específicos também foram atendidos. O sistema demonstrou atender aos tempos necessários além de ter um retorno financeiro muito atraente. Uma alternativa antes da implantação do sistema é realizar um teste com algum dos trajetos mais longos e com isso validar o valor utilizado como valor de tráfego. Mesmo diminuindo o número, isso não deve implicar no aumento da quantidade de AGVs, mas deve ser considerado.

Propõe-se para trabalhos futuros uma análise de como ocupar o tempo ocioso do AGV, ampliando seu escopo de atendimentos. Outra opção é um estudo mais abrangente sobre o ganho ergonômico com a utilização deste equipamento, além de um estudo visando mudanças no procedimento para um ganho total em ergonomia dos operadores.

## Referências

CROOM, S. R.; ROMANO P.; GIANNAKIS, M. Supply Chain Management: A Literature Review and Taxonomy. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, v. 6, n. 1, p. 67-83, 2000.

DEUS, A. D. Uma abordagem para implementação de qualidade assegurada no fornecimento, baseada em análise de capacidade: um estudo de caso em uma empresa do setor automotivo. **Revista Produção Online**. Florianópolis, SC, v.09, n. 4, p. 822-847, 2009

ENSSLIN, Leonardo; VIANNA, William B. O design na pesquisa quali-quantitativa em engenharia de produção—questões epistemológicas. **Revista Produção Online**, v. 8, n. 1, 2008

FERRELLI, P.; MACHADO, R. R.; SILVA, R. G.; MOREIRA, W. A. **Redução de custos operacionais e condições inseguras em um almoxarifado após automatização de rotas internas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 3, 2015, Ponta Grossa, PR. Anais... Ponta Grossa: CONBREPPO, 2015. Disponível em: <<http://aprepro.org.br/conbrepro/2015/anais.php>> Acesso em: 20 de setembro, 2022.

GASKINS, R. J.; TANCHOCO, J. M. a. Flow path design for automated guided vehicle systems. *Int. J. Prod. Res.*, 1987.

GIL, Antônio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6ª ed. Editora Atlas, 2017.

GROOVER, M. P. *Automation, Production Systems, and Computer-integrated Manufacturing*. 3rd. [S.l.]: Prentice Hall, 2008. ISBN 9780132393218.

MERRIAM, S. B. *Qualitative research and case study applications in education*. San Francisco: Jossey-Bass, 1998.

PEREIRA, S. L. **Aspectos Sobre Processos Automatizados de Pesagem Rodoferroviária: Uma Proposta de Modernização de Postos em Operação**. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

PHILLIPS, J. J.; ZUNIGA, L. *Costs and ROI: Evaluating at the Ultimate Level*. [S.l.]:Wiley, 2008. (*Essential knowledge resource*). ISBN 9780787987213.

RONCHI, E. *Transformação digital: Indústria 4.0*. Disponível em: <<https://www.programacentelha.com.br/2022/05/25/transformacao-digital-industria-4-0/#:~:text=Os%20benef%C3%ADcios%20da%20ind%C3%BAstria%204.0,eficiente%20e%20centrado%20no%20cliente>> Acesso em: 22 de março de, 2023.

SOUZA, J.; ROYER, R. Implantação de um sistema AGV - veículo guiado automaticamente um estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32, 2013, Salvador, BA. Anais... SALVADOR: ENGEPP, 2013. Disponível em: <<https://abepro.org.br/publicacoes/index.asp?ano=2013>> Acesso em: 15 de setembro, 2022.

STAKE, R. E. *The art of case study research*. Thousand Oaks: SAGE Publications, 1995

YAO, X. *Industry 4.0 in Logistics*. Torino, 2018. Disponível em: <<https://webthesis.biblio.polito.it/7078/1/tesi.pdf>> Acesso em: 20 de setembro, 2022.

YIN, R. K. Case study research: design and methods. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2002.