

MODELAGEM PREDITIVA DE CUSTOS EM PROCESSOS DE CONVERSÃO DE FITAS ADESIVAS

Manufatura, Custos e Investimento de Capital

Ramon Delano de ASSUNÇÃO¹

<https://orcid.org/0009-0002-0681-2715>

Marcell Mariano Corrêa MACENO²

<https://orcid.org/0000-0002-6762-8236>

RESUMO

Fitas adesivas de embalagem e crepe são itens comuns do mercado de varejo e no dia a dia do consumidor brasileiro. Neste artigo, mediante um estudo de caso, foi realizado um estudo sobre estes tipos fitas adesivas vendidas no mercado de varejo quanto a possíveis processos de conversão, cálculo de custos, investimento de capital e considerações sobre qualidade do produto final e manutenção de maquinário do processo produtivo. Em um processo de conversão em duas etapas, rebobinamento seguido de corte, verificou-se menor necessidade de investimento, menor necessidade de qualificação de mão-de-obra e menos gastos com manutenção. Para um processo de conversão em etapa única, com rebobinamento e corte simultâneos, verificou-se melhor produtividade, maior qualidade e menor custo de produto acabado devido a este processo de conversão ser mais eficiente. No entanto, para este tipo de processo e etapa única é requerido maior aporte de capital devido a investimento em maquinário mais complexo, e maior gasto com mão-de-obra e manutenção mais qualificadas. Foi também realizada uma análise de sensibilidade de custos dos processos de conversão e de produto acabado em função do volume de produção desejado a fim de comparar cenários dos processos em diferentes níveis de produção para ambos os produtos.

Palavras-chave

Fitas adesivas; Conversão; Varejo; Fita crepe; Fita de embalagem.

Submetido em: 29/11/2023 – Aprovado em: 15/12/2023 – Publicado em: 18/12/2023

1 Mestrando em Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Paraná, PR, delano@ufpr.br.

2 Professor, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Paraná, PR, marcell.maceno@ufpr.br.



PREDICTIVE COST MODELING IN ADHESIVE TAPE CONVERTING PROCESSES

Manufacturing, Costs and Capital Investment

ABSTRACT

Packaging and crepe adhesive tapes are common items in the retail market and in the daily lives of Brazilian consumers. In this article, through a case study, an evaluation was carried out on these types of adhesive tapes sold in retail regarding possible converting processes, cost calculation, capital investment and considerations on finished product quality and maintenance of machinery in the production process. In a two-step converting process, rewinding followed by cutting, it was observed lesser need for capital investment, lesser need for specialized labor and lower maintenance costs. For a single-step converting process, with simultaneous rewinding and cutting, it was observed better productivity, higher quality and lower finished product cost due to the more efficient converting process. However, for this type of single-step process, a bigger capital investment is necessary due to investment in more complex machinery, higher expenditure on more qualified labor and maintenance. A cost sensitivity analysis of the converting processes and finished product was also carried out depending on the desired output in order to compare process scenarios at different output levels for both products.

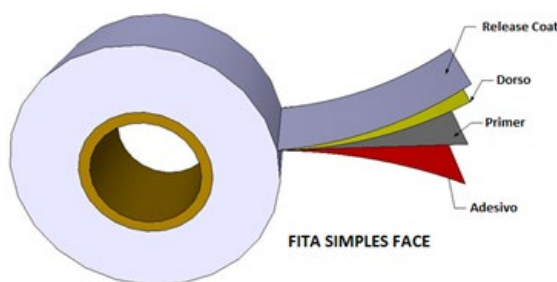
Keywords

Adhesive tapes; Converting; Retail; Crepe tape; Packaging tape.

1 INTRODUÇÃO

Fitas adesivas são produtos comuns no uso tanto por indústrias quanto pelo consumidor final. A estrutura básica de uma fita adesiva compreende um adesivo sensível à pressão (PSA), *primer*, dorso e *release coat* (CRETON, 2003). Tal construção básica é apresentada na Figura 1. O PSA é uma substância permanentemente pegajosa que adere aos substratos sob pressão. Os PSAs mais importantes para fitas são feitos de polímeros como borracha natural, borrachas sintéticas ou poliácridatos. O *primer* é uma camada fina aplicada no lado revestido com adesivo do dorso e que atua como um agente de interface entre o dorso e o adesivo, e pode ser químico (através de substâncias químicas semelhantes ao PSA) ou físico (mediante tratamento corona ou chama para filmes plásticos). O dorso é um material relativamente fino e flexível que suporta o adesivo. Dado que o dorso afeta as propriedades mecânicas de uma fita adesiva, ele tem um papel importante quanto aonde, durante quanto tempo e para qual aplicação a fita adesiva será destinada (BENEDEK e FELDSTEIN, 2009a; DILLARD et al., 2002). O *release coat* é uma substância química de revestimento aplicada ao dorso no lado oposto do adesivo. Ele proporciona força de desenrolamento controlada e evita delaminação ou rasgo da fita (HINTERWALDTNER, 1984).

Figura 1. Construção básica de fitas adesivas.



Fonte: os autores (2023).

O processo de produção de uma fita adesiva compreende as etapas de preparação do PSA, *coating*, secagem, conversão e embalagem. É comum que os produtores de fitas adesivas concentrem as etapas de preparação dos adesivos, revestimento e secagem (processos químicos) em poucas fábricas, produzindo rolos jumbo, largos e longos (ex.: 1550mm de largura x 3.500m de comprimento). Esses jumbos são então distribuídos internacionalmente para centros de conversão, fábricas menores que realizam os processos mecânicos de conversão e embalagem no formato desejado do produto final (ex.: pequenos rolos manuais de 48mm de largura x 50m de comprimento). Geralmente, a conversão de um material pode compreender processos como rebobinamento, corte, *die-cutting*, impressão, laminação e assim por diante, dependendo da forma e dos requisitos do produto acabado a ser fabricado (DUNN, 2015; PAPPAS, s.d.; HANSEN, 1994).

Um dos mercados mais importantes para os produtores de fitas adesivas é o setor varejista. Este mercado tem alta demanda por itens como fitas crepe e de embalagem, e está cada vez mais migrando para produtos mais ambientalmente sustentáveis e de maior apelo sustentável (BADÍA et al., 2021; CZECH et al., 2013).

Em relação a sua composição, fitas crepe para o mercado de varejo geralmente tem dorso de papel crepe, PSA de borracha natural, borracha sintética ou acrílico, *release coat* a base de borracha ou látex e *primer* químico. Tais fitas tem como características funcionais a impermeabilidade para com tintas, água e pigmentos a fim serem usadas em mascaramento de pintura imobiliária e em funilaria automotiva, resistência a radiação UV abaixo de três dias para aplicação interna ou até quinze dias quando para uso externo, resistência a temperatura de até 60°C e flexibilidade mecânica devido ao dorso não ser rígido. As fitas de embalagem mais comuns têm dorso de filme de polipropileno biorientado (BOPP), primer via tratamento corona, PSA acrílico, de borracha natural ou de borracha sintética e usualmente não contém *release coat*. As características funcionais principais deste tipo de produto são a resistência ao envelhecimento, especialmente para fitas com adesivo acrílico, estabilidade mecânica e resistência ao rasgo devido ao dorso de BOPP e uso em geral apenas em temperatura ambiente (BENEDEK & FELDSTEIN, 2009b; CRETON, 2003).

Além dos requisitos funcionais, observa-se a tendência por procura de materiais e soluções com maior grau de sustentabilidade, reciclagem e circularidade. Esta é uma das razões, por exemplo, pela qual muitos adesivos anteriormente produzidos com solventes orgânicos possuem novas tecnologias que permitem sua produção com *coating* a base de água e até mesmo com monômeros biodisponíveis para poliácrlatos (DROEBSKE et al., 2021; BENEDEK & FELDSTEIN, 2009b; CAN-DO NATIONAL TAPE, s.d.). Os materiais dos dorsos também seguem gradativamente o mesmo caminho: os materiais recicláveis, com tendência circular.

Neste contexto, o presente trabalho avaliará, através de um estudo de caso, um cenário onde rolos jumbo de fitas adesivas crepe e de empacotamento para varejo são produzidos na China, importados para um centro de conversão no Brasil, convertidos no produto acabado localmente e fornecidos aos clientes no Brasil. Esta avaliação será feita através de: (1) comparação técnica de dois processos de conversão diferentes e possíveis, seu maquinário específico, necessidade de mão de obra, vantagens e limitações, (2) avaliação dos custos do produto acabado fabricado através de ambos os processos, (3) comparação de capital a ser investimento para implementar os processos de conversão e (4) por uma comparação qualitativa em questões relacionadas à qualidade do produto acabado e manutenção de máquinas em ambas as possibilidades de conversão. Detalhes sobre produto, processos de conversão e análises estão presentes em Materiais e Métodos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para levantamento do estado da arte foi feita uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) bem como uma Revisão Bibliométrica de Literatura (RBL), conforme protocolo a seguir. A revisão da literatura avaliou as publicações disponíveis relacionadas ao tema da pesquisa para (1) encontrar referências que auxiliem a metodologia, análise e discussão dos resultados, (2) encontrar lacunas de pesquisa relacionadas ao tema deste trabalho e (3) suportar a originalidade da pesquisa e/ou abordagem adotadas. A RBL buscou a análise quantitativa de tipos de publicação, de revistas principais e análise quantitativa de conteúdo, de forma geral. A seguir segue o protocolo de pesquisa adotado.

Palavras-chave e operadores *booleanos* adotados:

- a) “*adhesive tapes*”
- b) “*adhesive tapes*” AND *cost*
- c) “*adhesive tapes*” AND *production*
- d) “*pressure sensitive*” AND *cost*
- e) “*pressure sensitive*” AND *production*

A avaliação se deu por publicação nos anos de 2012 a 2022 nas bases de dados *Science Direct* e *Web of Science*. Após coletar as informações necessárias, foi realizada análise e exclusão de duplicatas via software *Mendeley Desktop*. Foi realizada uma avaliação da disponibilidade do conteúdo selecionado apenas em inglês, tendo como critérios de exclusão na análise (a) Título, Palavras-Chave e Resumo e (b) Texto Completo. Para a RSL serão considerados os dez primeiros trabalhos resultantes de cada *string* de pesquisa.

Na interface entre fitas adesivas e temas relacionados ao mercado varejo, com especial destaque para fitas crepe e de embalagem, o principal meio de publicação foram os artigos revisados por pares. O foco das publicações é a busca por produtos mais sustentáveis, de maneira que custos e processos de produção são abordados apenas de maneira indireta e secundária. No âmbito da inovação e novos desenvolvimentos na indústria de fitas adesivas, as principais publicações encontram-se no *International Journal of Adhesion and Adhesives*. Não há autores que se destaquem em função de um alto número de publicações, porém verificou-se que a maioria das publicações que tem relação com esta pesquisa vêm de autores localizados na Europa e na Ásia. As publicações são oriundas aqui em sua maioria de universidades e institutos de pesquisa, e foram publicadas principalmente nos últimos cinco anos apenas.

Como exemplos de iniciativas sustentáveis apresentadas na literatura, ALLASIA et al. (2022); SHIM et al. (2020) e BADÍA et al. (2021) tratam da substituição de adesivos PSA com solventes orgânicos por opções à base de água.

Embora os processos de produção de adesivos PSA à base de água, como a polimerização em emulsão, permitam a produção de materiais poliméricos com baixa emissão de solventes orgânicos, a redução da sua pegada de carbono também pode ser alcançada através da substituição de matérias-primas derivadas do petróleo por polímeros de origem sustentável. KIM et al. (2022) trata da produção de PSAs acrílicos sem qualquer solvente ou uso de água. SINGH et al. (2022) propõe novas formulações de PSAs com óleo de linhaça com aplicações em embalagens nas indústrias alimentícia e de saúde, mas não no mercado de varejo para o consumidor final. Ainda sobre o tema dos adesivos PSA fabricados com produtos renováveis, PAUL et al. (2022) e DROESBEKE (2021) propõem uma formulação de PSAs com poliácridatos à base de lignina e LEE et al. (2020) propõe um adesivo acrílico com agente reticulante à base de isossorbida, material obtido a partir da glicose, como alternativa aos compostos derivados do petróleo.

Tabela 1 – Resultado da RSL e RBL.

Palavras-chave	Critério	Total de Artigos	Principal Tipo de Publicação	Principal Revista
"adhesive tapes"	Title, Key Words & Abstract	328	Research Articles	Forensic Sci. Int.
"adhesive tapes"	Full Text	19.771	Research Articles	Int. J. Biol. Macromol.
"adhesive tapes" AND cost	Title, Key Words & Abstract	38	Research Articles	Talanta
"adhesive tapes" AND cost	Full Text	6945	Research Articles	Int. J. Biol. Macromol.
"adhesive tapes" AND production	Title, Key Words & Abstract	16	Research Articles	Int J Adhes Adhes.
"adhesive tapes" AND production	Full Text	8.080	Research Articles	Int J Adhes Adhes.
"pressure sensitive" AND cost	Title, Key Words & Abstract	35	Research Articles	Sep. Purif. Technol.
"pressure sensitive" AND cost	Full Text	2.975	Research Articles	Sens. Actuators B Chem.
"pressure sensitive" AND production	Title, Key Words & Abstract	33	Research Articles	Int J Adhes Adhes.
"pressure sensitive" AND production	Full Text	2.754	Research Articles	Int J Adhes Adhes.

Fonte: os autores (2023).

Através da revisão da literatura, torna-se evidente que até o momento poucas pesquisas foram feitas na literatura diretamente sobre o tema pesquisado. Isto é corroborado por alguns fatores: (a) quase toda a literatura que suporta este tema é datada de cinco anos atrás, (b) há poucas publicações que abordam o tema de forma direta e (c) em termos de novas tecnologias e seus respectivos processos de conversão e custos, o que está sendo produzido em termos de novos produtos está sendo principalmente patenteadado, não necessariamente publicado em artigos acadêmicos por hora.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais e Processos de Conversão

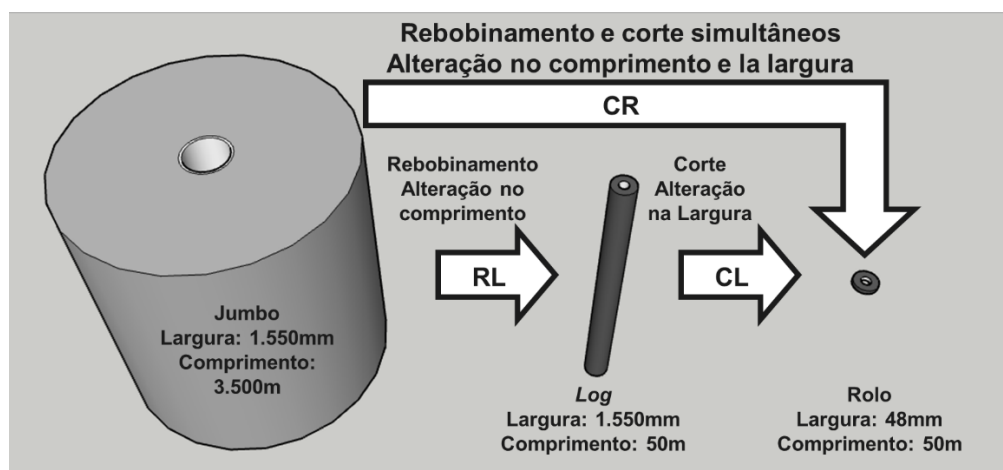
O estudo de caso deste trabalho considera um centro de conversão no Brasil que utiliza rolos jumbo como matéria-prima para converter rolos de fitas adesivas crepe e de embalagem. Os jumbos são grandes rolos de fita adesiva com, no caso de fitas crepe, 1.550mm de largura x 3.500m de comprimento e, no caso de fitas de embalagem, 1.600mm de largura e 8.000m de comprimento. Os jumbos de ambos os produtos chegam embalados em paletes individuais, de 730mm x 730mm no caso das fitas crepe e 1000mm x 1000mm no caso das fitas de embalagem, e transportados da origem na China para o Brasil via frete marítimo em contêineres. No centro de conversão, os jumbos são recebidos, passam por uma inspeção de qualidade no recebimento e ficam armazenados no armazém na embalagem original até serem convertidos. Para o produto acabado, que são rolos de fita crepe 48mm x 50m e rolo de fita de embalagem 48mm x 100m, matérias-primas adquiridas localmente compreendem tubetes de papel, sacos plásticos, etiquetas, fitas de fechamento das caixas, caixas de papelão e filme *stretch*.

O processo de conversão pode ser feito em uma ou duas etapas. Em duas etapas, rebobinam-se os rolos jumbo em rolos *log* - processo de rebobinamento de *logs* (RL) - onde a largura original é mantida, mas o comprimento é reduzido (ex.: produzir rolos *log* de 1.550m de largura x 50m de comprimento para fitas crepe e 1600mm de largura x 100m para as fitas de embalagem) e depois cortam-se os *logs* em rolos de produto acabado - corte de *logs* (CL) - onde o comprimento é mantido e a largura reduzida (ex.: produção de rolos de 48mm de largura x 50m de comprimento para fitas crepe e 48mm de largura x 100m de comprimento para fitas de embalagem), sendo estes os produtos finais a serem embalados e enviado para os clientes. Um exemplo comparativo entre jumbos, *logs* e rolos é apresentado na Figura 2.

A produção em duas etapas exige pelo menos duas máquinas, uma rebobinadora e ao menos uma cortadora de *logs*. Como o tempo de ciclo do processo de RL é geralmente mais menor do que o do CL, é comum ter duas cortadoras de *logs* operando em paralelo a fim de processar o que uma rebobinadora de *logs* produz. Esse é o caso do centro de conversão deste estudo de caso. Para cada máquina é necessário um operador e, como neste caso há uma rebobinadora e duas cortadoras, o processo exige um total de três operadores. Utilizando máquinas mais sofisticadas, é possível ir direto dos jumbos aos rolos finais em apenas uma etapa, por meio de um processo de rebobinamento e corte simultâneos (CR), eliminando *logs*, provendo mais velocidade ao ciclo produtivo e, teoricamente, gerando menos custos, menor gasto de energia e reduzindo a necessidade para o trabalho. Aqui são necessários pelo menos dois operadores, um para a máquina propriamente dita e outro exclusivamente para embalagem. A desvantagem desse processo de etapa única é que ele exige maior investimento em máquinas e operadores, que costumam ser mais especializados.

O processo de conversão a utilizar (seja RL+CL ou CR diretamente) dependerá das características do produto a converter, da produção por hora necessária, da capacidade de investimento, aporte de capital da empresa em ativos fixos, bem como do nível de capacitação de seu corpo técnico.

Figura 2. Exemplo comparativo de jumbos, logs, rolos e processos de conversão.



Fonte: os autores (2023).

Há produtos que, pela necessidade de baixo custo e pela sensibilidade do mercado aos preços de venda, não permitem um processo em duas etapas, sendo obrigatória a conversão em processo único. Alto volume, baixa variação no mix de produção, baixo custo, baixo preço de venda e baixa diferenciação técnica representam esses tipos de fitas adesivas de embalagem e crepe (DUNN, 2015; PAPPAS, s.d.; HANSEN, 1994; BENEDEK e FELDSTEIN, 2009b; CAN-DO NATIONAL TAPE, s.d.; PINNACLE CONVERTING EQUIPMENT, s.d.).

3.2 Custos e análise de sensibilidade

Os custos de produção compreendem todos os gastos necessários para transformar uma matéria-prima em um produto acabado e pronto para venda. Eles incluem componentes relacionados a materiais diretos (por exemplo: matérias-primas, embalagens, transporte, manuseio, armazenamento), mão de obra direta (por exemplo: salários, benefícios, encargos), utilidades (por exemplo: energia elétrica, ar comprimido, água de resfriamento, vapor), custos fixos de produção (ex.: manutenção, depreciação, aluguel de prédio fabril, restaurante, segurança, etc.) e custos variáveis diversos (ex.: custos adicionais de embalagens, roupas, custos e/ou receitas vinculadas a subprodutos e sobras etc.). O custo do produto (CoP) é, então, calculado pela soma dos custos a ele relacionados.

Este cálculo padrão do CoP indica um “custo ideal”, uma referência que deve ser perseguida como meta, servindo de base para a gestão medir a eficiência da produção e compreender as variações do CoP. Este CoP padrão seria aquele obtido pelo centro conversor em condições ótimas de eficiência e rendimento, medido por medidas físicas e monetárias de recursos produtivos (KATO, 2015; LOPES, 2015; CHEATHAM e CHEATHAM, 1996).

Em geral, o custo do produto acabado é calculado em função do rolo jumbo, do processo de conversão e das demais matérias-primas, conforme dado pela equação (1):

$$CoP_i = TC + CP_i + RM_i \quad (1)$$

CoP_i é o custo do produto acabado fabricado através do processo de conversão *i*, TC é o custo da fita adesiva utilizada como matéria-prima (o rolo jumbo), CP_i é o custo de fabricação do processo de conversão *i*, RM_i é o custo das demais matérias-primas locais tais como caixas de papelão, sacolas plásticas, rótulos e tubetes, enquanto *i* é o tipo de processo de conversão, sendo RL+CL de duas etapas ou CR em etapa única. O custo do material de fita adesiva do jumbo utilizado para cada rolo acabado é calculado pelas equações (2) e (3), onde JB é o custo do jumbo e n_{JB} é o número de rolos acabados convertidos do jumbo. n_{JB} é calculado considerando o rendimento dos rolos produzidos em função da largura e do comprimento do jumbo e do rolo acabado. O rendimento em relação à largura é a função piso do quociente entre as larguras do jumbo, w_J, e do rolo acabado, w_R. O rendimento em relação ao comprimento é a função piso do quociente entre os comprimentos do jumbo, l_J, e do rolo acabado, l_R.

$$TC = \frac{JB}{n_{JB}} \quad (2)$$

$$n_{JB} = \left\lfloor \frac{w_J}{w_R} \right\rfloor \times \left\lfloor \frac{l_J}{l_R} \right\rfloor \quad (3)$$

O custo do processo de conversão, para cada tipo de processo de conversão, é dado pela equação (4), considerando o custo por minuto Mr_i de cada máquina utilizada e o tempo de ciclo t_i medido para cada processo individual. Como os custos do processo são uma informação fundamental para a empresa do estudo de caso, os valores foram fornecidos como dados consolidados, não desagregados por subcomponentes como mão de obra, energia, depreciação etc., e em unidades relativas (valores absolutos sem moeda definida).

$$CP_i = \sum_{i=SRVLW+LS} (Mr_i \times t_i) \quad (4)$$

O custo das demais matérias-primas é calculado em função do custo C_i do tubete utilizado no processo de conversão e custo dos materiais de embalagem como a caixa de papelão CT, os sacos plásticos para embalagens internas PB e as etiquetas L, conforme apresentado nas equações (5) a (10). O custo C_i do tubete por rolo acabado é o quociente do custo C do tubete de *log* usado no processo RL e o número de rolos acabados n_C cortados por *log* no processo LS. n_C é a função piso do quociente entre as larguras do jumbo (que é a mesma largura do *log*), w_J, e do rolo acabado, w_R. Para o processo CR os tubetes já são comprados cortados na largura do rolo de produto acabado. Assim, para este tipo de processo de conversão, C_i é igual ao preço de compra direta do tubete já cortado C e n_C é igual a 1.

O custo CT por rolo da caixa é o quociente do custo caixa de papelão SB e o número de rolos contidos por caixa n_{RC} . Dentro de cada caixa há sacos plásticos protetores com quantidades menores de rolos. O custo por rolo desses sacos plásticos de embalagem interna PB é o quociente do custo do saco plástico individual IP pelo número de rolos de produto acabado por sacola plástica n_{PB} . Por último, há o custo das etiquetas das embalagens. Existem etiquetas aplicadas na caixa externa e outras aplicadas em sacos plásticos na embalagem interna. O custo total de etiquetagem L é a soma do custo das etiquetas individuais por caixa L_{CT} e por embalagem interna, ou saco plástico, L_{PB} multiplicados pelas respectivas quantidades de etiquetas por caixa n_{CT} e por sacola plástica n_{PB} .

$$RM_i = C_i + CT + PB + L \quad (5)$$

$$C_i = \frac{C}{n_C} \quad (6)$$

$$n_C = \left\lfloor \frac{w_J}{w_R} \right\rfloor \quad (7)$$

$$CT = \frac{SB}{n_{RC}} \quad (8)$$

$$PB = \frac{IP}{n_{PB}} \quad (9)$$

$$L = \frac{L_{CT} \times n_{CT} + L_{PB} \times n_{PB}}{n_{RC}} \quad (10)$$

O cálculo final do CoP do rolo acabado convertido por um dado processo $i \forall i = SR \vee LW+LS$, é, então, dado pela equação (11):

$$CoP_i = \frac{JB}{\left\lfloor \frac{w_J}{w_R} \right\rfloor \times \left\lfloor \frac{l_J}{l_R} \right\rfloor} + \sum_i (Mr_i \times t_i) + \frac{C}{\left\lfloor \frac{w_J}{w_R} \right\rfloor} + \frac{SB}{n_{RC}} + \frac{IP}{n_{PB}} + \frac{L_{CT} \times n_{CT} + L_{PB} \times n_{PB}}{n_{RC}} \quad (11)$$

Será feita uma análise de sensibilidade para compreender como a variação do volume de produção afeta os custos. Considerando a modelagem de custos apresentada, os parâmetros relativos ao jumbo e às matérias-primas locais permanecerão constantes. Como a produção horária das máquinas não mudará tanto para RL+CL quanto para CR, o tempo do ciclo de produção t_i é constante. O aumento da produção causaria, em teoria, como efeito final uma diluição dos custos fixos, diminuindo assim a taxa de produção Mr_i , o que finalmente diminuiria o custo do processo de conversão CP_i e o custo do produto acabado CoP_i (LOPES, 2015; CHEATHAM e CHEATHAM, 1996; BOONS, 1998). A produção será simulada em dez faixas de produção consecutivas, incrementais e igualmente distribuídas, numeradas de 1 a 10, onde o cenário de produção atual do centro de conversão está na faixa 3 para fitas crepe e 6 para as fitas de embalagem. Em resumo, para diferentes cenários de produção, a análise de sensibilidade avaliará o quão diferentes os valores de Mr_i , obtidos com a empresa do estudo de caso, afetam CP_i e CoP_i . As implicações dos resultados desta avaliação poderiam apoiar a tomada de decisão sobre qual processo de conversão utilizar para um determinado nível de produção e por quê.

3.3 Investimento de capital

Investimento de capital é o desembolso de dinheiro para financiar e garantir o crescimento de uma empresa a longo prazo através da aquisição de ativos físicos de longo prazo. Imóveis, fábricas e máquinas estão entre os ativos adquiridos como investimentos de capital e que são depreciados. Recursos para investimento de capital podem vir de diversas fontes, incluindo o caixa da empresa, empréstimos, emissão de ações em bolsa e assim por diante. Ao investir em equipamentos e/ou tecnologia, as empresas pretendem melhorar a eficiência, reduzir custos, aumentar a produção, melhorar a sustentabilidade e a qualidade dos produtos. Tendo em vista o orçamento disponível, o tipo de máquinas adquiridas deve ser decidido, então, considerando fatores como capacidade técnica, custos gerais, tempo de implementação, mão de obra necessária etc. (WANG et al., 2023; ALFREDSSON & MALMAEUS, 2019; JACKSON et al., 2009; ALKARAAN & NORTHCOTT, 2006; CHAUDURI et al., 2010).

Neste artigo, a análise de investimento de capital compreenderá a comparação entre os custos necessários para implementar os processos de conversão CR e RL+CL. Essa comparação será em termos de custos de maquinário, transporte, ferramental na forma de facas de corte, infraestrutura predial, materiais para *tryout* e folha de pagamento durante a etapa de implementação dos processos. Os custos das máquinas serão mapeados através de valores vistos junto a empresa do estudo de caso referente às máquinas para RL, CL e CR. Esses valores considerarão as máquinas já postas nas instalações do centro de conversão, que compreendem os preços de máquinas, transporte e impostos aplicáveis. As facas de corte terão preços considerados diretamente de fornecedores locais. A infraestrutura predial inclui custos com preparação de cabos de energia, ar comprimido para atuadores pneumáticos e cabos de rede para conexão das máquinas na internet para serviços de suporte remoto bem como acesso na rede da própria da empresa. Esses custos serão cotados de fornecedores locais na cidade do centro de conversão. Os materiais para teste compreendem rolos jumbo usados para *tryout* de máquinas. Estes poderiam ser considerados em montante igual tanto para SR como para LW+LS. Para análise será considerado o valor de 5 jumbos para *tryout* para ambos os cenários RL+CL e CR. A folha de pagamento compreende o custo das pessoas envolvidas em um projeto de implementação de linha, como pessoal de engenharia, qualidade, compras, finanças e controle, cadeia de suprimentos, manutenção e assim por diante. Neste artigo, a folha de pagamento também será considerada igual para ambos os cenários. Da mesma forma que no tópico de modelagem de custos de produtos, como os custos são uma informação fundamental para a empresa do estudo de caso, os valores foram fornecidos na mesma base de unidades relativas (valores absolutos e sem unidade monetária específica).

3.4 Qualidade e Manutenção

Após comparar tecnicamente os processos RL+CL e CR e calcular quantitativamente os custos em diferentes cenários, dois aspectos importantes a serem considerados qualitativamente através de observações de campo são a qualidade do produto acabado e a manutenção do maquinário. As observações de campo de ambos os processos de conversão no local de fabricação fornecerão informações sobre tópicos que podem afetar a qualidade. Estas observações serão feitas sobre as consequências do uso ou não de lubrificantes nos processos de corte CL e CR. Como o produto acabado deve ser enviado seco ao cliente final, a implicação prática relacionada ao uso de lubrificantes é a necessidade de tempo de secagem para a evaporação do lubrificante. Além disso, o corte com lubrificante pode afetar os tubetes de papel da fita adesiva, diminuindo sua resistência mecânica. Como os processos de corte mudam de CL para CR, as lâminas e as diferenças de *setup* também são importantes para efeito de comparação qualitativa. Finalmente, em relação à manutenção, serão feitas observações qualitativas sobre limpeza de máquinas, troca de lâminas e tempo necessário. Todas estas observações qualitativas de campo destinam-se a complementar a análise quantitativa de custos e a fornecer apoio à comparação e às possibilidades fornecidas por LW+LS e SR.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fitas crepe

Os resultados de uma análise comparativa de custos para ambos os processos de conversão são apresentados na Tabela 2 para fitas crepe. Como o rolo jumbo de fita utilizado como matéria-prima para ambos os processos é o mesmo, todos os custos e insumos relacionados a ele não se alteram tanto para RL+CL quanto para CR. Assim, J_B , w_J , l_J , w_R , l_R , n_{JB} e TC são iguais, independentemente do processo de conversão utilizado.

Uma vez avaliados os custos do processo de conversão, existem diferenças significativas que se destacam. Em primeiro lugar, a taxa de custo de fabricação por minuto varia de cada processo, sendo que Mr_{RL+CL} é 29% inferior ao Mr_{CR} . Isso se deve às próprias máquinas e a mão de obra associada às mesmas. As rebobinadoras e cortadoras de *log* são máquinas muito mais simples do que máquinas para CR. Como essas máquinas mais simples têm menor preço, com menor impacto de depreciação, menores custos de manutenção e exigem mão de obra menos qualificada, o custo de operação desses processos é geralmente menor do que operar uma máquina de CR, que acarreta mais custos relacionados à depreciação, manutenção mais complexa, exige mão de obra mais qualificada e assim por diante. O outro componente do custo do processo é o tempo necessário para a saída do ciclo de conversão. Neste cenário, t_{CR} , por ser um processo de uma única etapa operando em maior velocidade, é um tempo de ciclo mais curto do que t_{RL+CL} para o processo de duas etapas.

Isso significa que CR tem produtividade superior em cerca de 52% por unidade de tempo. No geral, o processo CR é mais caro do que RL+CL por unidade de tempo, mas isso é compensado pela maior produção. O custo final do processo de conversão CP_{CR} é então 33% menor que CP_{RL+CL} . Assim, do ponto de vista da fabricação, CR é um processo de conversão melhor em termos de custo.

Como as caixas de papelão, as etiquetas e sacos plásticos para embalagens internas são iguais para ambos os processos de conversão, essas matérias-primas locais têm o mesmo custo. Portanto, SB, n_{RC} , CT, IP, n_{PB} , PB, L_{CT} , n_{CT} , L_{PB} , n_{PB} e L são iguais em RL+CL e CR. O cenário difere, no entanto, quando os tubetes de papel são considerados. Para RL+CL, os tubetes são fornecidos em larguras adequadas a serem utilizadas em rolos *log* em RL para posterior corte em CL. Para CR os tubetes são adquiridos já cortados na largura dos rolos acabados. Como para RL os tubetes devem ser um pouco mais largos que o rolo *log* a fim de obter um posicionamento apropriado para RL e uma fixação adequada do rolo *log* nos eixos das máquinas de corte para CL, o custo do tubete final por rolo de produto acabado em C_{RL} é superior a C_{CR} .

Considerando todos os componentes de custo, num cenário geral, CR é um processo melhor que RL+CL devido à maior produtividade e aos custos de matéria-prima local. Assim, o CoP_{CR} foi avaliado como 14,7% menor que CoP_{RL+CL} .

Tabela 2 – Análise de custos do rolo de produto acabado – fita crepe.

Variável	i	Valor	i	Valor	Diferença
JB	RL+CL	3.500	CR	3.500	-
w_J	RL+CL	1.550	CR	2	-
l_J	RL+CL	3.500	CR	3.500	-
w_R	RL+CL	48	CR	48	-
l_R	RL+CL	50	CR	50	-
n_{JB}	RL+CL	2.240	CR	2.240	-
TC	RL+CL	1,5625	CR	1,5625	0,0000
Mr_i	RL+CL	4,0974	CR	5,7900	-1,6926
t_i	RL+CL	0,1527	CR	0,0720	0,0807
CP_i	RL+CL	0,6256	CR	0,4169	0,2087
C	RL+CL	1,0498	CR	N/A	-
n_C	RL+CL	32	CR	N/A	-
C_i	RL+CL	0,0328	CR	0,0153	0,0175
SB	RL+CL	1,7066	CR	1,7066	-
n_{RC}	RL+CL	96	CR	96	-
CT	RL+CL	0,0178	CR	0,0178	-
IP	RL+CL	0,0993	CR	0,0993	-
n_{PB}	RL+CL	16	CR	16	-
PB	RL+CL	0,0062	CR	0,0062	-
L_{CT}	RL+CL	0,0002	CR	0,0002	-
n_{CT}	RL+CL	2	CR	2	-
L_{PB}	RL+CL	0,0001	CR	0,0001	-
n_{PB}	RL+CL	6	CR	6	-
L	RL+CL	0,0000	CR	0,0000	0,0000
RM_i	RL+CL	0,6496	CR	0,4409	0,2087
CoP_i	RL+CL	2,8377	CR	2,4203	0,4175

Fonte: os autores (2023).

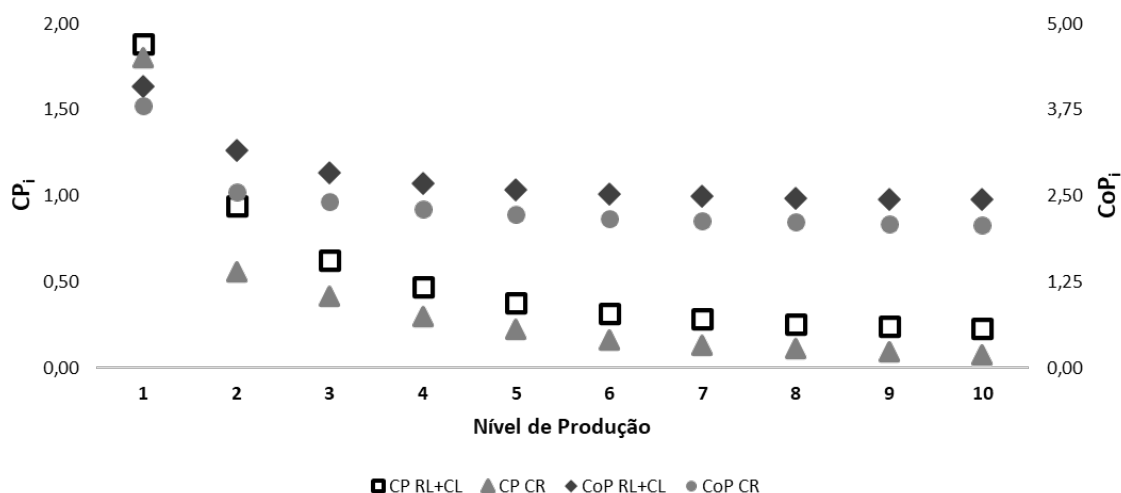
Para melhor compreender o efeito do volume de produção nos custos, *ceteris paribus*, foi realizada uma análise de sensibilidade para quantidades incrementais de produto. Os resultados são apresentados na Tabela 3 e no Gráfico 1, onde é demonstrado que, para produção incremental, independentemente do processo de conversão, tanto o CP_i quanto o CoP_i tendem a diminuir. Isso ocorre porque os custos fixos do centro de conversão seriam diluídos em um maior número de unidades, diminuindo progressivamente os custos por rolo acabado com maiores quantidades de produção (LOPES, 2015; BOONS, 1998). A faixa de produção originalmente simulada, com produção atual próxima do nível 3, correspondente à quantidade de material fabricado pela RL+CL em jornada de um turno de produção no estudo de caso. Para CR, a produção pode ser consideravelmente maior. Com relação a Mr_i , na produção imediatamente acima do nível 1, CR começa a ter custos de produção inferiores aos de RL+CL. Por outro lado, para uma produção muito baixa como no nível 1, os custos de processo são comparáveis, pois o volume de produção muito baixo não compensa o ganho de produtividade do processo. Com uma produção baixa, a máquina de CR terá muita ociosidade, de modo que Mr_{CR} será afetado negativamente, encarecendo o custo do processo produtivo.

Tabela 3 – Análise de sensibilidade para fita crepe.

Nível de Produção	i	Mr_i	t_i	CP_i	CoP_i	i	Mr_i	t_i	CP_i	CoP_i
1	RL+CL	12,313	0,1527	1,8801	4,0922	CR	25,029	0,0720	1,8021	3,8055
2	RL+CL	6,175	0,1527	0,9430	3,1551	CR	7,749	0,0720	0,5579	2,5613
3	RL+CL	4,117	0,1527	0,6286	2,8407	CR	5,756	0,0720	0,4145	2,4178
4	RL+CL	3,069	0,1527	0,4686	2,6807	CR	4,125	0,0720	0,2971	2,3004
5	RL+CL	2,470	0,1527	0,3772	2,5893	CR	3,100	0,0720	0,2232	2,2266
6	RL+CL	2,058	0,1527	0,3143	2,5264	CR	2,214	0,0720	0,1594	2,1628
7	RL+CL	1,852	0,1527	0,2829	2,4950	CR	1,845	0,0720	0,1328	2,1362
8	RL+CL	1,667	0,1527	0,2546	2,4667	CR	1,537	0,0720	0,1107	2,1141
9	RL+CL	1,584	0,1527	0,2419	2,4540	CR	1,281	0,0720	0,0923	2,0956
10	RL+CL	1,504	0,1527	0,2298	2,4419	CR	1,067	0,0720	0,0769	2,0802

Fonte: os autores (2023).

Gráfico 1 – Análise de sensibilidade para fita crepe.



Fonte: os autores (2023).

Da perspectiva de produtividade, CR é o processo de conversão mais recomendado. Com relação a CoP_i , CR tende a ter vantagem em todas as comparações. Isto acontece, como explicado anteriormente, porque os custos mais elevados do processo CR são compensados por uma maior produção com melhor produtividade. Tendo em vista fatores não financeiros, como disponibilidade de mão-de-obra qualificada, complexidade de manutenção e assim por diante, para baixos níveis de produção RL+CL pode ser uma opção atrativa, uma vez que as máquinas são menos exigentes e CoP_i é próximo para ambos os processos de conversão. Para altas demandas, CR parece ser a melhor opção, embora neste processo o centro de conversão deva estar preparado para operar maquinário mais complexo.

4.2 Fitas de embalagem

Os resultados de uma análise comparativa de custos para ambos os processos de conversão são apresentados na Tabela 4 para fitas de embalagem. Em linhas gerais, observam-se as mesmas tendências da análise de custos para fitas crepe. O custo do rolo jumbo igual para ambos os processos e os insumos locais, a exceção dos tubetes, também. Do ponto de vista de processo, o processo CR novamente apresenta custo de processo mais elevado, sendo o processo em duas etapas 29% mais em conta na taxa de manufatura por minuto. No entanto, levando-se em conta que t_{CR} é quase um terço de t_{RL+CL} , e que, portanto, a produtividade do processo em etapa única para este tipo de produto é muito maior que em duas etapas, o custo de processo do produto CP_{CR} é aproximadamente metade de CP_{RL+CL} .

Considerando todos os componentes de custo, num cenário geral, ficou evidente que CR é um processo bastante superior para fitas de embalagem em relação a RL+CL, sendo que CoP_{CR} foi avaliado como 41,9% menor que CoP_{RL+CL} .

Tabela 4 – Análise de custos do rolo de produto acabado – fita de embalagem.

Variável	i	Valor	i	Valor	Diferença
JB	RL+CL	1.300	CR	1.300	-
w_J	RL+CL	1.600	CR	1,600	-
l_J	RL+CL	8.000	CR	8.000	-
w_R	RL+CL	48	CR	0,048	-
l_R	RL+CL	100	CR	100	-
n_{JB}	RL+CL	2.640	CR	2.640	-
TC	RL+CL	0,4924	CR	0,4924	0,0000
Mr_i	RL+CL	4,1130	CR	5,7900	-1,6770
t_i	RL+CL	0,2721	CR	0,0936	0,1785
CP_i	RL+CL	1,1190	CR	0,5419	0,5771
C	RL+CL	1,0498	CR	N/A	-
n_C	RL+CL	33	CR	N/A	-
C_i	RL+CL	0,0318	CR	0,0153	0,0165
SB	RL+CL	1,7066	CR	1,7066	-
n_{RC}	RL+CL	96	CR	96	-
CT	RL+CL	0,0178	CR	0,0178	-
IP	RL+CL	0,0993	CR	0,0993	-
n_{PB}	RL+CL	16	CR	16	-
PB	RL+CL	0,0062	CR	0,0062	-

L_{CT}	RL+CL	0,0002	CR	0,0002	-
n_{CT}	RL+CL	2	CR	2	-
L_{PB}	RL+CL	0,0001	CR	0,0001	-
n_{PB}	RL+CL	6	CR	6	-
L	RL+CL	0,0000	CR	0,0000	0,0000
RM_i	RL+CL	1,1430	CR	0,5659	0,5771
CoP_i	RL+CL	2,7545	CR	1,6003	1,1542

Fonte: os autores (2023).

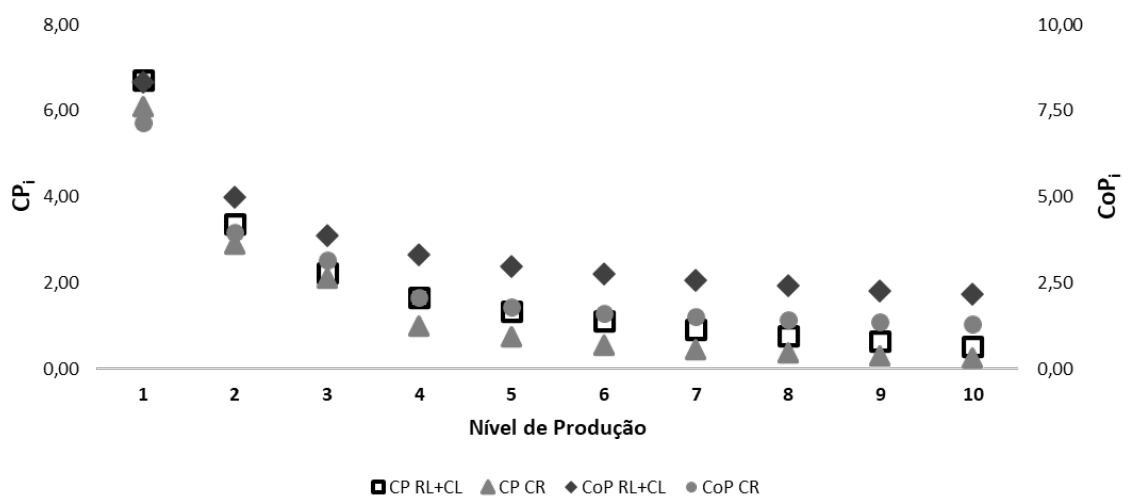
A análise de sensibilidade para fitas de embalagem tem seus resultados apresentados na Tabela 5 e no Gráfico 2. Novamente, para produção incremental, independentemente do processo de conversão, tanto o CP_i quanto o CoP_i tendem a diminuir função da maior diluição de custos fixos com o aumento do aumento do volume de produção. Na faixa de produção simulada, a produção atual está no nível 6, correspondente à quantidade de material fabricado pela CR em jornada de um turno de produção no estudo de caso. Com relação a Mr_i, em todos os níveis de produção CR apresenta custos de produção inferiores aos de RL+CL. Isso significa que uma produção via RL+CL seria apenas justificável para completar ociosidade dos equipamentos caso essa seja a decisão do centro de conversão, pois do ponto de vista do custo do produto acabado, de maneira isolada, o processo CR é vantajoso em todas as faixas de produção. Assim da perspectiva de produtividade, CR é o processo de conversão mais recomendado.

Tabela 5 – Análise de sensibilidade para fita de embalagem.

Nível de Produção	i	Mr_i	t_i	CP_i	CoP_i	i	Mr_i	t_i	CP_i	CoP_i
1	RL+CL	24,627	0,2721	6,7005	8,3359	CR	65,077	0,0936	6,0912	7,1496
2	RL+CL	12,351	0,2721	3,3605	4,9960	CR	30,996	0,0936	2,9012	3,9596
3	RL+CL	8,234	0,2721	2,2403	3,8758	CR	22,581	0,0936	2,1136	3,1719
4	RL+CL	6,138	0,2721	1,6700	3,3054	CR	10,727	0,0936	1,0041	2,0624
5	RL+CL	4,941	0,2721	1,3444	2,9798	CR	8,060	0,0936	0,7545	1,8128
6	RL+CL	4,113	0,2721	1,1190	2,7545	CR	5,790	0,0936	0,5419	1,6003
7	RL+CL	3,413	0,2721	0,9288	2,5642	CR	4,797	0,0936	0,4490	1,5074
8	RL+CL	2,833	0,2721	0,7709	2,4064	CR	3,997	0,0936	0,3742	1,4325
9	RL+CL	2,351	0,2721	0,6398	2,2753	CR	3,331	0,0936	0,3118	1,3702
10	RL+CL	1,951	0,2721	0,5311	2,1665	CR	2,776	0,0936	0,2598	1,3182

Fonte: os autores (2023).

Gráfico 2 – Análise de sensibilidade para fita de embalagem.



Fonte: os autores (2023).

Com relação a CoP_i, CR, semelhantemente, tende a ter vantagem em todas as faixas de comparação. Isto acontece, como explicado anteriormente, porque os custos mais elevados do processo CR são compensados por uma maior produção com melhor produtividade.

4.3 Investimento de Capital

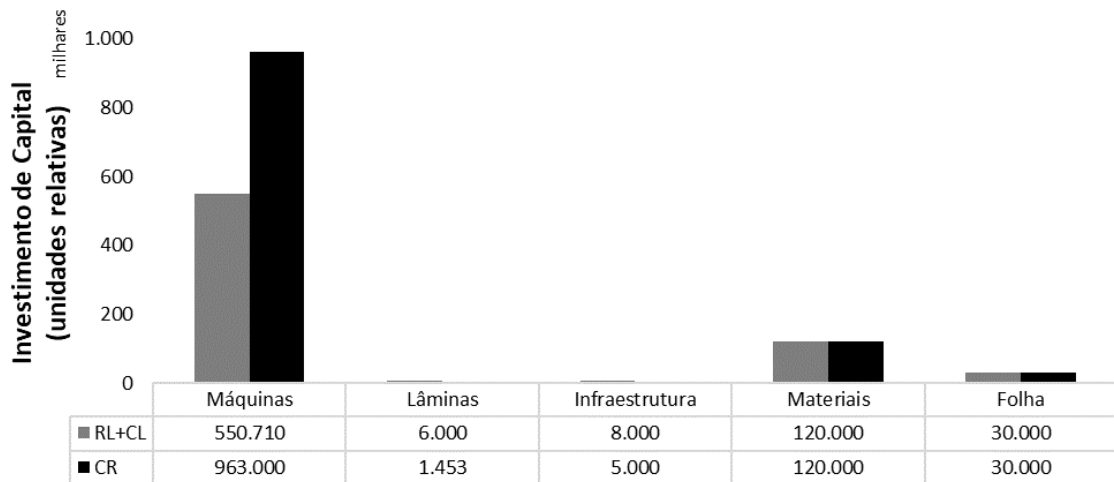
A Tabela 6 apresenta os resultados relativos à avaliação do investimento de capital e o Gráfico 3 apresenta uma comparação dos principais componentes da análise do investimento de capital.

Tabela 6 – Investimento de capital para implementação dos processos de conversão avaliados.

i	RL	CL	RL+CL	CR
Tipo de máquina	Rebobinadora	Cortadora	-	-
- Grau de automação	Semiautomática	Semiautomática	Semiautomática	Automática
- Quantidade de máquinas	1	2	3	1
- Operadores/máquina	1	1	1	2
- Total de operadores	1	2	3	2
Custo total por máquinas	490.600	60.110	550.710	963.000
- Lâminas/kit	0	2	2	32
- Kit de lâminas/máquina	0	10	10	30
- Total de lâminas/máquina	0	40	40	969
- Custo por lâmina	0	150	150	1,50
Custo total com lâminas	0	6.000	6.000	1.453
Total com infraestrutura	4.000	2.000	8.000	5.000
- Jumbos para <i>tryout</i>	5	0	5	5
Custo total com material	24.000	0	24.000	24.000
Folha de pagamento total	15.000	15.000	30.000	30.000
Investimento Total	629.600	83.110	712.710	1.119.453
- Período de depreciação (anos)	10	10	10	10
Depreciação anual	62.960	8.311	71.271	111.945

Fonte: os autores (2023).

Gráfico 2 – Investimento de capital em unidades monetárias relativas.



Fonte: os autores (2023).

O custo do maquinário para CR é aproximadamente 75% maior do que para RL+CL. Aqui é apresentado o fato de que uma máquina de ponta, com maior rendimento e grau de automação, custa mais do que três máquinas individuais (uma rebobinadora e duas cortadoras de logs). Os custos mais elevados são devidos à complexidade da máquina para CR em comparação com as outras máquinas. Essas máquinas exigem mais servomotores, eixos, componentes eletrônicos de precisão, peças usinadas, freios mais robustos e assim por diante. Isto está em linha com os dados utilizados no cálculo dos custos. Por um lado, se a máquina para CR fornece mais produtividade, tendo assim $t_{CR} < t_{RL+CL}$, esta também traz maior depreciação e custos operacionais, gerando $Mr_{CR} > Mr_{RL+CL}$ devido a um processo de conversão mais dispendioso por tempo no processo CR.

As lâminas para CL são mais caras que para CR. CL é um processo de corte em torno, utilizando lâminas circulares. Para a CR, as facas são lâminas planas descartáveis tipo navalha, o que as torna mais simples e baratas, porém necessitando uma maior quantidade de jogos de lâminas justamente devido ao fato de serem descartáveis.

A infraestrutura predial inclui custos de preparação da fonte de alimentação de energia, ar comprimido para uso pneumático e cabos de rede. Esses custos são bastante semelhantes para ambos os processos. As diferenças são devidas a (1) para CR ser necessária apenas uma infraestrutura enquanto para RL+CL a infraestrutura é para três máquinas separadas e (2) a fiação elétrica para CR são cabos mais caros devido ao fato de uma máquina maior e mais complexa exigir corrente elétrica mais alta, portanto, demandando materiais mais robustos.

Os rolos jumbo para teste foram considerados em igual quantidade para CR e RL+CL. Para a análise foram considerados cinco rolos jumbo independente do processo. Por isso ambos os processos, em tese, consumiriam a mesma quantidade de material para *startup* e homologação. A folha de pagamento também foi considerada igual para ambos os cenários.

A premissa para isso é que não importa o processo, para um investimento de capital, o mesmo grupo de pessoas estaria envolvido na previsão, no cálculo de custos do produto, na especificação da máquina, nas compras, no transporte etc.

Para pequenos volumes de fita crepe, RL+CL parece uma melhor escolha devido ao fato de ser uma despesa de capital (*Capex*) menor, porém com despesas operacionais (*Opex*) um pouco maiores. CR parece ser uma opção melhor em cenários onde a produção é média ou elevada para fitas crepe e em todos os casos de fita de embalagem. Uma maior produção justificaria maiores investimentos em *Capex* e *Opex* mais elevado (ALKARAAN e NORTHCOTT, 2006; CHAUDURI et al., 2010; RAMMER, 2023; FENG et al., 2021).

4.4 Qualidade e manutenção

Nesta parte do artigo é feita uma comparação qualitativa adicional de ambos os processos de conversão em relação à qualidade do produto acabado e à manutenção do maquinário. Um tópico importante na comparação do corte entre CL e CR é a lubrificação do dispositivo de corte. Em CL, cada rolo *log* é cortado em um processo de corte em torno, com uma grande lâmina rotativa individual que é lubrificada 100% a água ou com uma mistura de 95% de água/5% de lubrificantes orgânicos, dependendo do produto a ser cortado. Para os produtos do estudo de caso, o lubrificante da lâmina é água 100% pura no processo CL. Dado que, como requisito de qualidade, o produto acabado não deve ser expedido molhado nem úmido, uma consequência prática é que os rolos acabados cortados via CL devem permanecer no armazém durante cerca de duas semanas para, uma vez embalados, secarem completamente. No caso de CR, como o processo de corte é a seco, a mercadoria pode ser enviada aos clientes logo após a embalagem, pois o corte a seco por facas fixas tipo navalha não demanda tempo de armazenamento do produto para a evaporação de lubrificante. Esta vantagem do corte a seco no processo CR pode levar, devido ao giro de estoque mais frequente, à redução do estoque de produtos e à melhoria do fluxo de caixa do centro de conversão. Outro benefício é a melhor qualidade do rolo acabado (estética e funcionalmente), já que o produto é convertido sem a interferência de lubrificantes que possam causar efeitos no PSA e no dorso como, por exemplo, enrugar o papel das fitas crepe devido a absorção de água. Por fim, outro tópico importante é a lâmina de corte utilizada. Para CL a única ferramenta de corte necessária é uma lâmina de disco circular, geralmente feita de aço rápido com dureza Rockwell em torno de 62 a 64. Para CR as facas de corte são um grupo de várias facas fixas tipo navalha, feitas de aço com titânio nas extremidades (CHIEF et al., 2014). Este sistema, embora permita maior rendimento com melhor precisão de corte, exige tempo de *setup* mais lento, maior tempo de manutenção para trocar as lâminas individuais e lâminas de reposição, visto que as facas fixas são descartáveis enquanto as facas para CL podem ser afiadas e reaproveitadas.

Além disso, como no processo CL há o uso de água para lubrificar a lâmina, os tubetes de papel absorvem um pouco dessa água e ficam temporariamente amolecidos, perdendo resistência mecânica durante o processo de conversão. Como no corte CR há menos tensão mecânica, estresse ou efeitos de lubrificação, como amolecimento dos tubetes de papel, defeitos durante o CR ocorrem com menor frequência do que durante o corte em CL. Como o sistema de corte para CR utiliza uma maior quantidade de peças de corte mais complexas e mais caras, o custo para a substituição dessas peças, uma vez quebradas e/ou defeituosas, também é consideravelmente maior (BUSCHOW et al., 2001; AGGARWAL et al., 2005).

5 CONCLUSÃO

Neste artigo foi realizada uma avaliação através de um estudo de caso de fitas adesivas crepe e de embalagem para o segmento de varejo quanto aos seus processos de conversão, estrutura de custos, incluindo uma avaliação através de análise de sensibilidade, investimento de capital e uma análise qualitativa sobre qualidade do produto e manutenção de máquinas do processo produtivo. Através de uma revisão da literatura, verificou-se que este é um tema ainda pouco estudado na literatura científica. Na modelagem de custos e análise de sensibilidade foi demonstrado que o processo de conversão em duas etapas RL+CL é mais adequado para uma produção em baixa escala no caso das fitas crepe, pois utiliza máquinas menos complexas, mão de obra menos qualificada, exige menos manutenção, menor tempo de *setup* e complexidade geral. Por outro lado, uma vez que são necessários maior produtividade e melhor qualidade do produto acabado no caso das fitas crepe, bem como para todos os cenários estudados de fita de embalagem, a conversão CR é mais adequada. Esse processo proporciona menor custo do produto acabado e alta produtividade, mas ao mesmo tempo exige maquinário mais complexo, mão de obra especializada e maior atenção a *setup* e manutenção, que são mais complexos. A análise de investimento de capital segue lado a lado com a análise de custos. Como o dispêndio de capital para investir em RL+CL é menor do que para CR, RL+CL é mais adequado para produção mais baixa e exige menos recursos financeiros da empresa, enquanto CR é uma opção mais adequada quando a produção elevada justifica o dispêndio de capital incremental para investir neste tipo de maquinário para CR. Por fim, considerando a ausência de lubrificação e menos tensões mecânicas nos tubetes de papel no processo CR, este processo de conversão mais avançado normalmente permite produtos acabados com maior qualidade, melhor controle de processo e mercadorias prontas para envio, suportando assim uma melhor gestão de inventário mediante um maior giro de estoque.

Declaração: os autores declararam que não têm interesses concorrentes.

REFERÊNCIAS

- AGGARWAL, S., BHUSHAN, B., KATSUBE, N. Three-dimensional finite element analysis of the magnetic tape slitting process. **Journal of Materials Processing Technology** v.70, n.1-2, p.71-88, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.03.032>. Acesso: 19 nov. 2023.
- ALFREDSSON, E. C., MALMAEUS, J. K. Real capital investments and sustainability - The case of Sweden. **Ecological Economics** v.161, p.216-224, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.04.008>. Acesso em 12 nov. 2023.
- ALKARAAN, F., NORTHCOTT, D. Strategic capital investment decision-making: A role for emergent analysis tools?: A study of practice in large UK manufacturing companies. **The British Accounting Review** v.38, n.2, p.149-173, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bar.2005.10.003>. Acesso: 18 nov. 2023.
- ALLASIA, M., AGUIRRE, M., GUGLIOTTA, L. M., MINARI, R. J., LEIZA, J. R. High biobased content waterborne latexes stabilized with casein. **Progress in Organic Coatings** v.168, p.106870, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.106870>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- BADÍA, A., BARANDIARAN, M. J., LEIZA, J. R. Biobased Alkali Soluble Resins promoting supra-molecular interactions in sustainable waterborne Pressure-Sensitive Adhesives: High performance and removability. **European Polymer Journal** v.144, p. 110244, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.110244>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- BENEDEK, I., FELDSTEIN, M. M. **Fundamentals of Pressure Sensitivity**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009a.
- BENEDEK, I., FELDSTEIN, M.M. **Technology of Pressure-Sensitive Adhesives and Products**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009b.
- BOONS, A. N. A. M. Product costing for complex manufacturing systems. **International Journal of Production Economics** v.55, n.3, p.241-255. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00064-4). Acesso em: 19 nov. 2023.
- BUSCHOW, K. H. J., FLEMINGS, M. C., KRAMER, E. J., VEYSSIÈRE, P., CAHN, R. W., ILSCHNER, B., MAHAJAN, S. **Encyclopedia of Materials: Science and Technology**. 1. ed. Amsterdam: Elsevier, 2001.
- CAN-DO NATIONAL TAPE, s.d. **Slitting**. Disponível em: <https://www.can-dotape.com/slitting/>. Acesso em: 23 jan. 2022.
- CHAUDHURI, A., KOU DAL, P., SESHADRI, S. Productivity and capital investments: An empirical study of three manufacturing industries in India. **IIMB Management Review** v.22, n.3, p.65-79, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.iimb.2010.04.012>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- CHEATHAM, C. B., CHEATHAM, L. R. Redesigning cost systems: Is standard costing obsolete? **Accounting Horizons** v.10, n.4, p.23-31, 1996.

- CHIEF, V., MARI, D., LLANES, L. **Comprehensive Hard Materials**. 1. ed. Amsterdam: Elsevier, 2014.
- CRETON, C. Pressure-Sensitive Adhesives: An Introductory Course. **MRS Bulletin** v.28, p.434-439, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1557/mrs2003.124>. Acesso em: 12 nov. 2023.
- CZECH, Z., WILPISZEWSKA, K., TYLISZCZAK, B., JIANG, X., BAI, Y., SHAO, L. Biodegradable self-adhesive tapes with starch carrier. **International Journal of Adhesion and Adhesives** v.44, p.195-199, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2013.03.002>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- DILLARD, D. A., POCIUS, A. V., CHAUDHURY, M. **Adhesion Science and Engineering**. 1. ed. Amsterdam: Elsevier Science, 2002.
- DROESBEKE, M. A., AKSAKAL, R., SIMULA, A., ASUA, J. M., DU PREZ, F. E. Biobased acrylic pressure-sensitive adhesives. **Progress in Polymer Science** v.117, p.101396, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2021.101396>. Acesso em: 18 nov. 2023.
- DUNN, T. **Manufacturing Flexible Packaging**. 1. ed. Norwich: William Andrew Publishing, 2015.
- FENG, Q., WU, Z., & ZHOU, G. Fixed cost allocation considering the input-output scale based on DEA approach. **Computers & Industrial Engineering** v.159, p.107476, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107476>. Acesso em: 18 nov. 2023.
- HANSEN, W. L. Converting and Product Development Considerations for Pressure-Sensitive Adhesive Coated Products. **Journal of Coated Fabrics** v.23, n.4, p.288-297, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/152808379402300406>. Acesso em: 19 nov. 2023.
- HINTERWALDTNER, R. (1984). Radiation-curable silicone release coats. **International Journal of Adhesion and Adhesives** v.2, p.91-93, 1984. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0143-7496\(84\)90106-4](https://doi.org/10.1016/0143-7496(84)90106-4). Acesso em: 18 nov. 2023.
- JACKSON, S. B., LIU, X., CECCHINI, M. Economic consequences of firms' depreciation method choice: Evidence from capital investments. **Journal of Accounting and Economics** v.48, n.1, p.54-68, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jacceco.2009.06.001>. Acesso em: 18 nov. 2023.
- KATO, J. M. **Formação e Administração de Preços**. 1. ed. Rio de Janeiro: FGV IDE Management, 2015.
- KIM, H., CZECH, Z., BARTKOWIAK, M., SHIM, G., KABATC, J., LICBARSKI, A. Study of UV-initiated polymerization and UV crosslinking of acrylic monomers mixture for the production of solvent-free pressure-sensitive adhesive films. **Polymer Testing** v.105, p.107424, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107424>. Acesso em: 5 fev. 2023.
- LEE, S., BACK, J., SHIM, G., JANG, S., KIM, H. Adhesion performance and optical properties of optically pressure-sensitive adhesives including an isosorbide. **International Journal of Adhesion and Adhesives** v.98, p.102503, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.102503>. Acesso em: 5 fev. 2023.

LOPES, S. B. B. **Contabilidade, Custos e Orçamento Empresarial**. 1. ed. Rio de Janeiro: FGV IDE Management, 2015.

PAPPAS, M. Converting Equipment for Pressure-Sensitive Adhesives. **Adhesives & Sealants Industry**, n.d. Disponível em: <https://www.adhesivesmag.com/articles/92327-converting-equipment-for-pressure-sensitive-adhesives>. Acesso em: 18 nov. 2023.

PAUL, R., JOHN, B., SAHOO, S. K. UV-Curable Bio-Based Pressure-Sensitive Adhesives: Tuning the Properties by Incorporating Liquid-Phase Alkali Lignin- Acrylates. **Biomacromolecules** v.23, n.3, p.816-828, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.1c01249>. Acesso em 5 fev. 2023.

Converting Equipment for Tapes & Adhesives. Pinnacle Converting Equipment, n.d. Disponível em: <https://pinnacleconverting.com/converting-equipment/converting-equipment-by-material/tapes-adhesives/>. Acesso em: 18 nov. 2023.

RAMMER, C. Measuring process innovation output in firms: Cost reduction versus quality improvement. **Technovation** v.124, p.102753. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2023.102753>. Acesso em: 19 nov. 2023.

SHIM, G., KIM, J., BACK, J., JANG, S., PARK, J., KIM, H., CHOI, J., YEOM, J. Preparation of acrylic pressure-sensitive adhesives by UV/UV step curing as a way of lifting the limitations of conventional dual curing techniques. **International Journal of Adhesion and Adhesives** v.96, p.102445, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.102445>. Acesso em: 5 fev. 2023.

SINGH, M., SETHI, S. K., MANIK, G. Pressure-sensitive adhesives based on acrylated epoxidized linseed oil: A computational approach. **International Journal of Adhesion and Adhesives** v.112, p.103031, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.103031>. Acesso em: 5 fev. 2023.

WANG, S., TIAN, W., LU, B. Impact of capital investment and industrial structure optimization from the perspective of "resource curse": Evidence from developing countries. **Resources Policy**, v.80, p.103276. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103276>. Acesso em: 27 nov. 2023.