



CREA
Conselho Regional de
Engenharia e Agronomia



TÍTULO: POLÍMERO PET-P TX COMO SUBSTITUTO AO INOX 316L NA FABRICAÇÃO DE COMPONENTES DE MÁQUINA DA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

SANTOS, Israel Lucas Sabino dos
SILVA, Lucas Alves da
CIPOLATO, Celso Antonio
Universidade São Francisco

israel.lucas93@hotmail.com; lucas_alves.456@hotmail.com;

Israel Lucas Sabino dos santos, Aluno do Curso de Engenharia Mecânica, Universidade São Francisco; Campus Itatiba-SP

Lucas Alves da Silva, Aluno do Curso de Engenharia Mecânica, Universidade São Francisco; Campus Itatiba-SP

Professor Orientador Me. Celso Antonio Cipolato, Curso de Engenharia Mecânica, Universidade São Francisco; Campus Itatiba-SP.

Resumo: Com a ascensão das demandas por produtos básicos como alimentos, materiais de higiene e saúde, torna-se cada vez mais necessária a otimização dos processos de fabricação, visando melhor custo-benefício para o consumidor final. Com o aumento da demanda, amplia a responsabilidade dos fabricantes de máquinas e equipamentos em atender às normas sanitárias da ANVISA, visando garantir a segurança dos usuários. Para esses setores, é indicado o uso de materiais resistentes e não contaminantes, como o aço inoxidável 316L, um dos materiais mais utilizados. No entanto, existe uma desvantagem no uso desse material em peças com geometrias complexas, o processo de fabricação pode se tornar um desafio, especialmente quando a união das partes é realizada por solda. Esse trabalho busca analisar um possível substituto para o aço inoxidável 316L na fabricação de peças de máquinas para a indústria farmacêutica, focando nos benefícios e na viabilidade dos processos.

Palavras-chave: Poli (tereftalato de etileno), Aço inoxidável, Manufatura, ANVISA, Redução de processos.

Introdução

Esta pesquisa tem como objetivo analisar as dificuldades na fabricação de peças soldadas em material aço inoxidável 316L, com geometrias complexas, grandes dimensões e altos pesos, que exigem uniformidade, linearidade, precisão dimensional e acabamentos que atendam os requisitos da indústria farmacêutica. A adoção do PET pode apresentar uma solução promissora, permitindo maior simplicidade e redução de tempo na fabricação, além de diminuir possíveis áreas de paradas de produto e impurezas que possam gerar contaminações cruzadas, facilitando a limpeza e manutenção dos equipamentos sem comprometer a segurança sanitária exigida pelas normas da ANVISA.

Em vista da escassez literária sobre o uso de polímeros, como o poli (tereftalato de etileno) (PET), na fabricação de componentes e equipamentos de máquinas da indústria

farmacêutica, este artigo visa contribuir para o preenchimento dessa lacuna, oferecendo uma análise detalhada das vantagens e desafios da substituição do aço inoxidável 316L, comumente utilizado nesse segmento industrial. A metodologia baseia-se em uma análise comparativa dos processos de fabricação da mesma peça com ambos os materiais, apontando vantagens, desvantagens e desafios durante as etapas de manufatura. Também será analisado o desempenho de fabricação em termos de custo-benefício, eficiência operacional e conformidade as exigências regulatórias da ANVISA.

História dos materiais

Ao longo da história, inúmeras descobertas contribuíram para melhorar o cotidiano das pessoas. A descoberta de novos materiais e o desenvolvimento de técnicas para trabalhá-los desempenharam um papel fundamental no progresso das gerações.

A descoberta dos metais trouxe a transição da Idade da Pedra para a Idade dos Metais, onde o cobre substituiu a pedra. A manipulação do ferro, fundamental para a criação de armas e ferramentas, foi outro marco importante. Com a Revolução Industrial, surgiram novos processos de produção de ferro e aço, contribuindo significativamente para o avanço tecnológico (BOEIRA; BECK, 2007).

No século XX, o desenvolvimento de materiais poliméricos, compósitos avançados, cerâmicas de engenharia e ligas metálicas, como o titânio e os aços inoxidáveis, transformou áreas como a indústria aeroespacial, eletrônica e farmacêutica. Conforme citado por BOEIRA e BECK, (2007 p. 2):

O desenvolvimento dos materiais poliméricos, dos materiais compósitos avançados, das cerâmicas de engenharia, dos aços inoxidáveis, das ligas de titânio, dos materiais semicondutores, dos biomateriais, permitiu avanços significativos em inúmeras áreas, como a medicina, a odontologia, a indústria aeroespacial, eletrônica, automobilística, naval e mecânica.

A figura abaixo mostra a evolução dos materiais ao longo do tempo, conforme BOEIRA e BECK, (2007 p. 2):

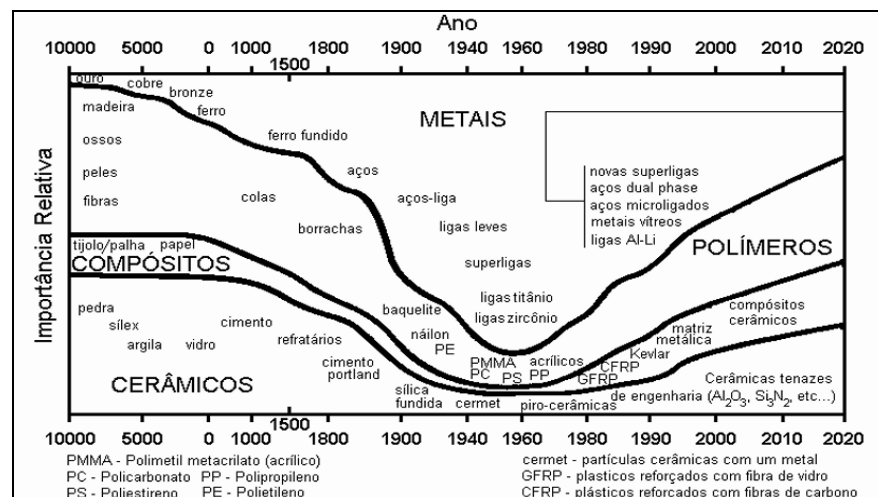


Figura 01: Evolução dos materiais ao longo do tempo



CREA
Conselho Regional de
Engenharia e Agronomia



Polímeros

O uso de materiais poliméricos tem se expandido significativamente nos últimos anos, devido às suas vantagens, como a facilidade de moldagem e o baixo peso, podendo ser de duas a seis vezes mais leves que cerâmicas e metais. Embora os polímeros não apresentem a mesma resistência estrutural dos metais, que são mais rígidos, é possível desenvolver produtos plásticos com resistência mecânica adequada, através da escolha de geometrias, seleção apropriada de reforços e materiais apropriados. Além disso, o fator econômico se torna favorável, uma vez que o menor peso e a baixa densidade dos polímeros podem influenciar significativamente os custos em comparação com os metais (ALMEIDA, 2015).

Conforme explica Mano (1999), os polímeros podem ser classificados conforme seus critérios escolhidos. Sendo divididos basicamente em dois grupos: naturais e sintéticos. Um termo comumente usado no mercado é “polímeros de engenharia”. Esses materiais são indispensáveis no desenvolvimento de soluções inovadoras em diversos setores, como automotivo, aeroespacial, eletrônico e na área da saúde. São projetados para atender demandas específicas, adaptando suas propriedades químicas, físicas e mecânicas eficientes para cada aplicação.

Na indústria os plásticos mais importantes são de origem sintética conforme explica Mano (1999, p. 90):

Os plásticos industriais são muitas das vezes baseados em copolímeros, contendo pequena quantidade de comonômero, cuja função é modificar no grau desejado algumas das propriedades do homopolímero. Nesses casos, a denominação do produto indica apenas o monômero predominante, como se fosse um homopolímero. Outras vezes, o produto industrial contém mais de um polímero, compondo uma mistura polimérica.

Aço inoxidável

O aço inoxidável é uma liga ferrosa composta principalmente por ferro, carbono e cromo, sendo o cromo responsável pela sua alta resistência à corrosão. Quando exposto ao oxigênio, o cromo forma uma camada protetora de óxido de cromo. Outros elementos, como níquel, molibdênio e manganês, podem ser adicionados para melhorar suas propriedades e criar maior a resistência em ambientes agressivos, como os industriais e marinhos. Graças a essas propriedades, o aço inoxidável é amplamente utilizado nas indústrias alimentícia, farmacêutica, hospitalar e na construção civil, além de ser essencial em instalações sanitárias, onde a limpeza é fundamental (TEBECHERANI, s.d.).

Além de sua resistência à corrosão, o aço inoxidável se destaca pela versatilidade em condições extremas de temperatura e carga mecânica. Em ambientes de alta temperatura, como fornos e turbinas, ele mantém suas propriedades mecânicas e pode ser reforçado com elementos como molibdênio e titânio para melhorar sua resistência à oxidação. Sua facilidade de limpeza e resistência a ambientes agressivos tornam o aço inoxidável a escolha ideal para sistemas sanitários e equipamentos médicos. A classificação dos aços inoxidáveis é feita em cinco famílias principais: ferríticos, martensíticos, austeníticos, dúplex e endurecíveis por

precipitação, cada uma oferecendo propriedades específicas para diferentes aplicações (TEBECHERANI, s.d.).

Agência nacional de vigilância sanitária (ANVISA)

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é uma autarquia sob regime especial, com sede e foro no Distrito Federal e atuação em todo o território nacional. Tem por finalidade institucional promover a proteção da saúde da pública por intermédio do controle sanitário da produção e consumo de produtos e serviços, incluindo ambientes, processos, insumos e tecnologias relacionados, bem como o controle de portos, aeroportos, fronteiras e recintos alfandegados (ANVISA, 2021).

A indústria farmacêutica mundial é altamente regulamentada, exigindo conformidade com normas rigorosas de segurança e qualidade. Isso implica no uso de materiais e processos que garantam esses padrões, presando pela segurança da população e a eficiência na fabricação de produtos como alimentos, medicamentos e cosméticos. Nesse contexto, o uso de novos materiais representa um grande desafio, exigindo análise criteriosa para garantir sua conformidade com os requisitos sanitários e de qualidade.

Material e Métodos

Peça usada como estudo

A peça em questão é uma calha transportadora para copos dosadores farmacêuticos, utilizada em um alimentador vibratório que posiciona os copos em uma única orientação. A versão original é fabricada em aço inoxidável 316L e passa por diversos processos de manufatura para atender os requisitos das boas práticas de fabricação de medicamentos. A nova peça será fabricada em PET-P TX, com algumas alterações geométricas para atender o projeto, mas deverá seguir os mesmos requisitos.

Os copos dosadores transportados na calha são classificados pela ANVISA como acessórios cilíndricos ocos de fixação, destinados à administração de formas farmacêuticas líquidas. No qual é fundamental seguir os requisitos das boas práticas de fabricação de medicamentos.

Nas figuras 02 e 03 abaixo, são apresentados os desenhos técnicos da calha transportadora em aço inoxidável 316L e a que será fabricada em PET-P TX.

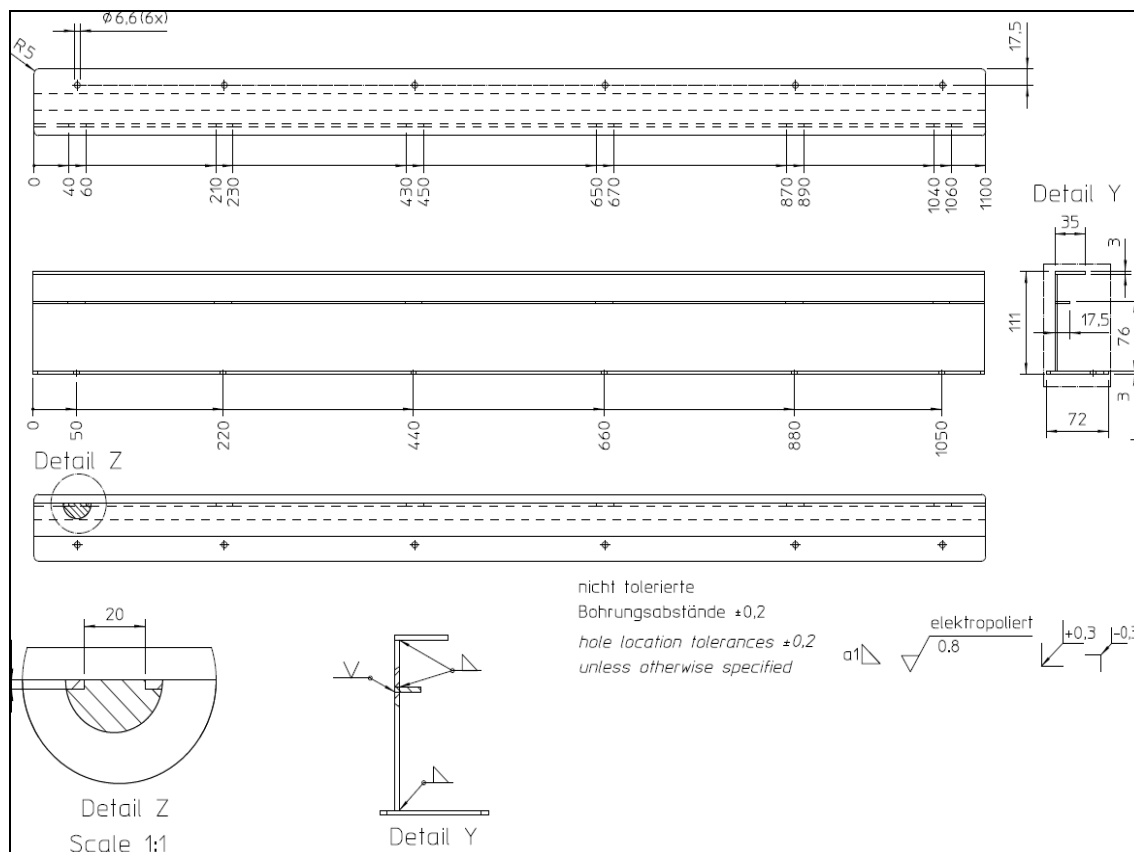


Figura 02: Calha vibratória em aço inox 316L

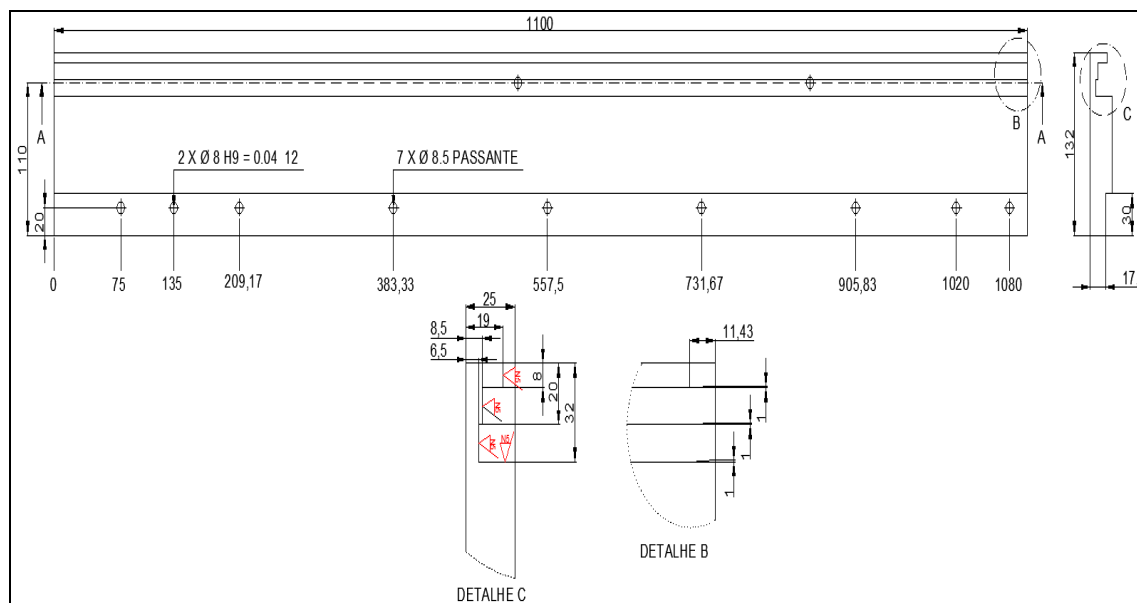


Figura 03: Calha vibratória em PET P-TX

Resolução das boas práticas de fabricação de medicamentos

A Resolução da ANVISA RDC n.º 658, de 2022, estabelece as diretrizes gerais e requisitos mínimos para as boas práticas de fabricação de medicamentos, com a intenção de garantir a qualidade e segurança da população brasileira e padronizar a verificação desses

processos. Assim, é fundamental que as peças utilizadas nas máquinas de transporte de acessórios, como copos dosadores de medicamentos, sigam requisitos semelhantes (ANVISA, 2022).

A resolução aborda tópicos essenciais relacionados aos riscos de contaminação durante os processos de fabricação, como a introdução de impurezas químicas, microbiológicas, matérias estranhas, produtos intermediários e produtos de processos anteriores. Mesmo que o acessório farmacêutico não tenha contato com o produto durante o processo, é crucial seguir tais diretrizes, a fim de evitar erros pois haverá contato com o líquido no momento do consumo (ANVISA, 2022).

Referente aos materiais empregados em contato com produto, a ANVISA (2022, p.17), estabelece que: “As partes destes equipamentos que entram em contato com os produtos não devem ser reativas, aditivas ou absorptivas a tal ponto que afetem a qualidade do produto e, dessa forma representem um perigo”.

Outro ponto importante da Resolução refere-se aos altos padrões de sanitização e limpeza que devem abranger toda a cadeia produtiva. As máquinas e equipamentos devem seguir esses requisitos para minimizar erros no processo de limpeza e não gerar contaminações. Durante o desenvolvimento do projeto, é essencial que a geometria e acabamento das peças que compõem o equipamento sejam criteriosamente analisados, garantindo que as superfícies tenham bom acabamento baixa rugosidade, o que facilita a limpeza e evita o acúmulo de sujeira e produtos intermediários (ANVISA, 2022).

Para garantir a segurança da população brasileira e mundial, é crucial que todos os processos de fabricação como transporte de medicamentos, embalagens primária e secundária e transporte de acessórios sigam as normas e requisitos definidos pela ANVISA. Essas normas são estabelecidas para padronizar processos e materiais, assegurando que não haja contaminação ou migração de matérias estranhas em produtos e acessórios farmacêuticos, o que poderia prejudicar a saúde da população.

Aço inoxidável 316L

Os aços inoxidáveis são divididos em três classes: a estrutura austenítica, da série 300, e as estruturas ferrítica e martensítica, da série 400. O aço inox 316L é um material austenítico. Os aços inoxidáveis apresentam características distintas, sendo que os austeníticos, por exemplo, apresentam maior dificuldade para usinagem devido à formação de cavacos longos, alta taxa de encruamento, grande zona plástica, baixa condutividade térmica, (o que dificulta a dissipação do calor), alto coeficiente de atrito e coeficiente de dilatação térmica elevado, o que torna difícil a manutenção de tolerâncias apertadas (DINIZ; MENDES; COPPINI, [s.d.]).

O aço inox 316L é padronizado pela norma AISI (American Iron and Steel Institute) e possui a seguinte composição básica: C <0,03%; Cr 16,5% a 18,5%; Ni 11% a 14%; Mo 2% a 3%; Cu 0,8%; Mn 2%; Si 1%; Sn 2%; P 0,04%; Fe.

O inox 316L é amplamente reconhecido por sua resistência à oxidação, o que o torna essencial para a fabricação de peças em máquinas e equipamentos da indústria farmacêutica. Como explica Fodra Filho (1997, p. 6):

É conhecido que a resistência à corrosão dos aços inox se deve à formação de uma película protetora na superfície do material, resultante da combinação entre o oxigênio do ambiente e o cromo existente na composição química do aço (todo aço inox possui no mínimo 12% de cromo em sua composição química). A formação desta fina, invisível e resistente película de óxidos de cromo, chamada de 'camada passiva', é praticamente instantânea e espontânea.

Processos de fabricação com aço inoxidável 316L aplicados na Indústria farmacêutica

No processo de manufatura de peças, é crucial considerar a obtenção de um bom acabamento, especialmente em peças longas e com geometria complexa. A utilização de matéria-prima com acabamento já agregado é vantajosa na redução de etapas, tempo e custo de mão de obra. Entretanto, em peças que passaram por usinagem, dobragem, tratamentos térmicos de alta temperatura, soldagem (que pode gerar risco de empenamento) ou que possuem cavidades, a utilização dessa matéria-prima nem sempre traz benefícios. Nesse caso, processos manuais de lixamento e polimento serão necessários, aumentando o tempo, os custos e as dificuldades de fabricação (FODRA FILHO, 1997).

As imagens abaixo ilustram os problemas enfrentados durante a fabricação da calha transportadora dos copos dosadores em inox 316L, utilizada como estudo. Esta peça passou por usinagem, soldagem e lixamento, e sofreu deformações devido a esforços mecânicos e elevação de temperatura.



Figura 04: Calha vibratória fabricada em aço inox 316L

Como mencionado na seção sobre normas, para seguir as diretrizes das boas práticas de fabricação de medicamentos, as peças de máquinas e equipamentos empregados na produção do setor farmacêutico devem ter bons acabamentos superficiais e baixa rugosidade, com a intenção de facilitar a limpeza, higienização e evitar o acúmulo de sujeira. Fodra Filho (1997, p. 6) cita que:



CREA
Conselho Regional de
Engenharia e Agronomia



A rugosidade da superfície é um conceito que está intimamente associado ao desempenho do material frente a um número muito grande de aplicações. Por mais planas que possam parecer a olho nu, as superfícies metálicas quando ampliadas mostram que são formadas na realidade por uma sequência de picos e vales. Quanto maiores forem os picos e mais profundos os vales e quanto mais frequentes eles forem, tanto maior será a rugosidade do material.

Para obter de bons acabamentos superficiais em peças de aço inoxidável, são utilizados processos mecânicos e manuais, com ou sem o uso de equipamentos específicos, como polimento e lixamento. Quando há o uso de solda e elevação de temperatura, são necessários também acabamentos químicos, como passivação e eletropolimento, para uniformização da superfície e remover os óxidos.

O polimento é uma operação mecânica que utiliza lixas e pastas abrasivas para reduzir a rugosidade e alcançar um acabamento brilhante e uniforme. No entanto, esse processo é mais difícil em peças com geometria complexa, podendo gerando tensões superficiais e deformações nas camadas externas. Já o lixamento, embora também proporcione um acabamento estético, não resulta em brilho, mas remove arranhões e manchas, sendo frequentemente utilizado para a remoção de cordões de solda. As desvantagens do lixamento são semelhantes às do polimento, com variação de padrão entre lotes e dependência do operador (FODRA FILHO, 1997).

A decapagem visa a remoção de óxidos indesejado formados sobre as superfícies após a processos como a soldagem e lixamento. A passivação, por sua vez, tem como finalidade estabelecer uma camada de óxidos estáveis e homogêneos nas superfícies. Esse processo pode ser realizado de forma mecânica (jateamento ou escovação), química (pasta ou gel decapante, ou imersão ácida) ou eletrolítica (decapagem eletrolítica ou eletropolimento), com o objetivo de remover contaminantes (FODRA FILHO, 1997).

O eletropolimento é frequentemente aplicado em peças que exigem acabamentos sanitários, como na indústria farmacêutica. Ele alisa a superfície, reduz o atrito, melhora o aspecto visual e realiza uma leve decapagem e passivação (FODRA FILHO, 1997).

Esses processos são essenciais para garantir qualidade de peças e componentes em aço inoxidável, principalmente em máquinas e equipamentos da indústria farmacêutica, que exigem superfícies lisas, com baixa rugosidade, isentos de contaminantes e com acabamento uniforme. No entanto, a aplicação de todos esses processos aumenta o tempo de fabricação, os custos, as dificuldades operacionais e a necessidade de mão de obra especializada. Em um cenário de constante busca por redução de tempo e custos, é necessário explorar novas alternativas.

Polímeros na indústria farmacêutica

Na indústria farmacêutica, os polímeros são amplamente utilizados, especialmente na fabricação de embalagens, tanto flexíveis quanto rígidas. Essa preferência se deve a diversas características vantajosas dos plásticos, como baixo peso, facilidade de manuseio,



CREA
Conselho Regional de
Engenharia e Agronomia



versatilidade em formatos, boas propriedades óticas e resistência química. Além disso, alguns plásticos apresentam boa resistência ao calor, permitindo sua esterilização térmica. Entre os plásticos mais utilizados em embalagens estão o Polietileno de Alta Densidade (PEAD), Polipropileno (PP), Policloreto de Vinila (PVC) e Poliéster (PET) (OLIVEIRA, 1997).

Os polímeros sintéticos, desenvolvidos para atender a características específicas, são amplamente empregados nas indústrias farmacêuticas, cosméticas e alimentícia. Um dos mais utilizados incluem UHMW (polietileno), PET (polietileno tereftalato) e Poliacetal (POM).

O UHMW (Ultra-high Molecular Weight) é derivado do a partir do composto de polietileno de ultra alto peso molecular. Esse material atóxico possui propriedades antiaderentes e apresenta características como baixo coeficiente de atrito, boa resistência química, atóxico, alta absorção de ruídos, não absorção significativa de água e boa usinabilidade. Seu ponto de fusão que varia entre 130 e 136°C (POLYBRASIL, 2023).

Devido a essas propriedades, o UHMW é utilizado em diversos setores como papel e celulose, mineração, alimentícia e de bebidas. Suas aplicações incluem revestimentos de silos, anéis de vedação, gaxetas, guias, estrelas, roldanas, entre outros. Disponível em chapas e tarugos, o que torna vantajoso para fabricação de peças por meio de processos de usinagem (POLYBRASIL, 2023).

O polietileno tereftalato (PET), é um polímero termoplástico pertencente à família dos poliésteres, resultante da reação entre ácido tereftálico (PTA) e etileno glicol (MEG). Suas características incluem alta resistência mecânica e química, excelente barreira contra gases e odores, impermeabilidade, inércia química (não reagindo de forma significativa com outros materiais ou substâncias), fácil processabilidade, alta reciclabilidade e baixo custo (PLASTICO, 2024).

Com ponto de fusão em torno de 250°C, o PET é facilmente moldada quando aquecido e solidifica-se novamente ao ser resfriado, mantendo a forma adquirida (PLASTICO, 2024).

Devido a essas propriedades, o PET é amplamente utilizado na fabricação de embalagens, como garrafas e frascos, além de fibras para a indústria têxtil e componentes rígidos para diversos setores industriais pois pode ser encontrado em formas de chapas, tarugos sendo vantajoso para fabricação de peças em geral (PLASTICO, 2024).

O poliacetal (POM) é um termoplástico cristalino, amplamente utilizado na fabricação de peças de precisão que exigem alto grau de resistência e rigidez. Suas principais características incluem estabilidade dimensional, térmica e química, elevada rigidez, boa resistência ao impacto, alta resistência à abrasão, boa usinabilidade. Seu ponto de fusão é cerca de 170°C. O POM é ideal para componentes como trilhos deslizantes, engrenagens, parafusos, buchas, esteiras e roletes.

Embora o POM apresente grande precisão dimensional, suas vantagens incluem baixa resistência a ácidos fortes estabilidade térmica limitada a altas temperaturas e baixa resistência à radiação ultravioleta (COMPOSTOS, 2021).

PET-P TX substituto do inox 316L

Cada um dos polímeros discutidos anteriormente possui características e propriedades únicas. Quando corretamente selecionados e aplicados, esses materiais podem gerar resultados altamente satisfatórios em projetos industriais.

Ao realizar uma comparação das características específicas e aplicações desses materiais, a escolha do polímero para o estudo da fabricação da calha transportadora de copos dosadores foi fundamentada nas necessidades do projeto, garantindo conformidade com as normas previamente mencionadas, sendo o PET o material selecionado.

Comparado ao UHMW (polietileno de ultra alto peso molecular) e ao poliacetal (POM), o PET-P TX oferece vantagens notáveis, tais como: Ponto de fusão superior fator que permite variações de temperatura mais elevadas, o que é crucial para resistência térmica durante a operação da calha. Resistência química que faz ter uma excelente barreira contra gases e odores, proporcionando maior durabilidade e proteção ao produto transportado. Facilidade de moldagem em geometrias complexas facilitando a fabricação de peças com formatos mais elaborados, o que pode ser um desafio com outros materiais. E por fim alta reciclabilidade alinhando-se com as práticas sustentáveis, tendências crescentes na indústria.

O PET P-TX é um material padronizado pelas normas ISO (International Organization for Standardization) e ASTM (American Society for Testing and Materials), conforme data sheet (MCAM, 2023):

		ISO*		
		Test methods	Units	Indicative values
Thermal properties (1)	Melting temperature (DSC, 10°C (50°F) / min)	ISO 11357-1/-3	°C	245
	Glass transition temperature (DMA- Tan δ) (2)		°C	
	Thermal conductivity at 23°C (73°F)		W/(K.m)	0.29
	Coefficient of linear thermal expansion (-40 to 150 °C) (-40 to 300°F)			
	Coefficient of linear thermal expansion (23 to 60°C) (73°F to 140°F)		µm/(m.K)	65
	Coefficient of linear thermal expansion (23 to 100°C) (73°F to 210°F)		µm/(m.K)	85
	Heat Deflection Temperature: method A: 1.8 MPa (264 PSI)	ISO 75-1/-2	°C	75
	Continuous allowable service temperature in air (20.000 hrs) (3)		°C	100
	Min. service temperature (4)		°C	-20
	Flammability: UL 94 (3 mm (1/8 in.)) (5)			HB
Mechanical Properties (6)	Flammability: Oxygen Index	ISO 4589-1/-2	%	25
	Tensile strength	ISO 527-1/-2 (7)	MPa	76
	Tensile strain (elongation) at yield	ISO 527-1/-2 (7)	%	4
	Tensile strain (elongation) at break	ISO 527-1/-2 (7)	%	5
	Tensile modulus of elasticity	ISO 527-1/-2 (9)	MPa	3300
	Shear Strength			59
	Compressive stress at 1 / 2 / 5 % nominal strain	ISO 604 (10)	MPa	31 / 60 / 102
	Compressive strength			
	Charpy impact strength - unnotched	ISO 179-1/1eU	kJ/m²	30
	Charpy impact strength - notched	ISO 179-1/1eA	kJ/m²	2.5
	Izod Impact notched			
	Flexural strength	ISO 178 (12)	MPa	122
	Flexural modulus of elasticity	ISO 178 (12)	MPa	3160
	Rockwell M hardness (14)	ISO 2039-2		94
	Shore Hardness D (14)	ISO 868		78
Electrical Properties	Electric strength	IEC 60243-1 (15)	kV/mm	21
	Volume resistivity	IEC 62631-3-1	Ohm.cm	10 ¹⁴
	Surface resistivity	ANSI/ESD STM 11.11	Ohm	10 ¹³
	Dielectric constant at 1 MHz	IEC 62631-2-1		3.2
	Dissipation factor at 1MHz	IEC 62631-2-1		0.014
Miscellaneous	Colour			Blueish Gray
	Density	ISO 1183-1	g/cm³	1.44
	Specific Gravity			
	Water absorption after 24h immersion in water of 23 °C (73°F)	ISO 62 (16)	%	0.06
	Water absorption at saturation in water of 23 °C (73°F)		%	0.47
	Wear rate	ISO 7148-2 (18)	µm/km	2
	Dynamic Coefficient of Friction (-)	ISO 7148-2 (18)		0.15-0.22
	Limiting PV at 100 FPM (safety factor 4)			
	Limiting PV at 0.1 / 1 m/s cylindrical sleeve bearings		MPa.m/s	0.26 / 0.16
Chemical Resistance		www.mcam.com/en/support/chemical-resistance-information		

Figura 05: Datashhet poli(terftalato de etileno) PET P-TX



CREA
Conselho Regional de
Engenharia e Agronomia



O PET-P TX é um poliéster termoplástico modificado com lubrificação interna, o que resulta em uma durabilidade superior das peças em comparação com nylons (PA) e acetais (POM) convencionais. Sua composição inclui um lubrificante sólido distribuído de maneira homogênea, resultando em uma menor taxa de desgaste e um coeficiente de atrito inferior ao de poliésteres não modificados, como PET convencional ou PBT. Esse material se destaca especialmente em condições de alta pressão quanto de alta velocidade apresentando resistência superior ao desgaste, coeficiente de atrito reduzido e valores PV (pressão x velocidade) mais elevados do que o PET-P convencional (ATHICA, s.d.).

A baixa taxa de absorção de umidade do PET P-TX garante que suas propriedades mecânicas e elétricas permaneçam estáveis, mesmo em ambientes úmidos, proporcionando desempenho superior em termos de desgaste e inércia, quando comparado com materiais como o nylon e o acetal.

Essas qualidades fazem do PET P-TX uma escolha ideal para aplicações que exigem alta pressão, alta velocidade e operação em ambientes com superfícies de contato entre metais e plástico, onde a redução de ruído é essencial (ATHICA, s.d.).

Os principais critérios para a escolha desse material foram suas propriedades mecânicas específicas, que atendem às necessidades do projeto. Além disso, cumpre os padrões estabelecidos pela FDA e pela USDA, que possuem requisitos semelhantes da ANVISA.

Processos de fabricação com polímeros

Na usinagem de peças em plásticos de engenharia segue processos similares aos dos metais. No entanto, devido às diferenças nas propriedades dos materiais, especialmente as características mecânicas, térmicas e o coeficiente de dilatação dos plásticos, são necessários cuidados adicionais durante a usinagem. Cada tipo de plástico exige testes e ajustes específicos para garantir bons resultados (LONKENS GAR, 2014).

Os materiais plásticos possuem um coeficiente de expansão térmica aproximadamente 10 vezes maior que os metais. Em processos como furação e fresamento, podem ocorrer recuperação elástica, exigindo o uso de ferramentas ligeiramente maiores ou cálculo dessas variações. Além disso, o ponto de fusão do plástico é mais baixo que o dos metais, o que pode causar alterações de forma, fusão ou rachaduras se a temperatura não for controlada adequadamente durante o processo (LOKENS GAR, 2014).

Lokensgard (2014, p. 166) explica que o uso de ferramentas para usinagem de plástico:

Ferramentas de corte em aço rápido ou carbureto utilizadas na usinagem de latão e alumínio também podem ser usadas na usinagem de plásticos os avanços e as velocidades são similares. Para muitos plásticos, a velocidade superficial de 2,5 m/s (492 rpm) com avanço (profundidade de corte) de 0,12 mm a 0,5 mm (0,005 a 0,02 polegada) por rotação fornece bons resultados. Para material cilíndrico, um corte de 1,25 mm (0,049 pol.) reduzirá o diâmetro em 2,5 mm (0,098 pol.).



CREA
Conselho Regional de
Engenharia e Agronomia



Para obter bons acabamentos em plásticos, utilizam-se técnicas de usinagem semelhantes às empregadas em madeira, metais e vidro. No fresamento, usar em sentido concordante ajuda a alcançar bons acabamentos. No lixamento, o uso de lixas de camadas mais abertas previne o entupimento e o empastamento, e no polimento, são usadas máquinas específicas com abrasivos feitos de tecidos, couros ou cerdas, aplicações comuns usadas em polimentos de peças de inox (LOKENS GAR, 2014).

O conhecimento detalhado do material plástico é fundamental para a escolha adequada dos processos, máquinas e ferramentas. Embora os processos de usinagem de plásticos sigam muitos dos mesmos princípios dos metais, é importante contar com profissionais experientes e qualificados para garantir bons resultados.

Metrologia

Metrologia é a ciência que se dedica à tecnologia das medidas e medições, sendo fundamental em todos os setores que requerem precisão. É essencial para a indústria, pois contribui significativamente para o desenvolvimento de novos produtos, assegurando qualidade e resultados satisfatórios.

Para obter resultados de uma medição é preciso usar instrumentos de medições específicos para cada grandeza de medida. Na manufatura de peças existe inúmeros instrumentos para realizar medições, dentre os mais usados na usinagem geral temos: Paquímetro, micrometro, relógios comparadores e apalpadores e rugosímetro.

Existem diversos tipos de paquímetros para aplicações variadas, sendo o paquímetro convencional um dos mais utilizados, destinado a medições gerais internas, externas, de profundidade e de ressalto. Da mesma forma, existem micrômetros para diversas finalidades; o micrômetro convencional, utilizado para medições externas, proporciona medições mais precisas que o paquímetro, sendo especialmente empregado na medição de espessuras e diâmetros (LINK, 2017).

Os relógios comparadores e apalpadores conseguem obter medidas lineares precisas, tanto diretas quanto indiretas. Esses instrumentos utilizam um complexo sistema de molas e engrenagens que transforma o movimento linear em rotação, sendo amplamente utilizados para medir batimentos, retitude e planicidade (LINK, 2017).

O rugosímetro, por sua vez, é um instrumento eletrônico capaz de medir desvios nas superfícies. As oscilações são denominadas picos e vales, causados pelos processos de fabricação. Embora possa ser utilizado em qualquer superfície, seu uso é mais comum em superfícies que exigem bons acabamentos, como os polidos e espelhados (LINK, 2017).

A metrologia é essencial para o desenvolvimento de novos projetos, garantindo que as medidas e tolerâncias corretas sejam aplicadas na manufatura das peças. Para obter bons resultados, é fundamental utilizar instrumentos de medição adequados durante todos os processos e especialmente na inspeção final.

Fabricação da calha transportadora em PET-P TX

A fabricação da calha transportadora em PET-P TX foi realizada por um fornecedor especializado em usinagem de plásticos, possuindo vasta experiência no segmento farmacêutico, cosméticos, alimentícios e automotivos. O desenho técnico das peças foi fornecido na fase inicial (Figura 03: Calha vibratória PET-P TX), o que permitiu uma análise detalhada e a definição clara de todas as etapas do processo.

O material foi adquirido em formato de chapa com as dimensões de 25x145x1110 mm, possibilitando passes de controle dimensional, com medidas de 138 mm e 1100 mm. Isso garantiu um controle preciso nas seções de maiores comprimentos.

Para a operação de desbaste das cavidades, utilizou-se uma fresa de topo de aço rápido de dois cortes, com profundidade de corte de 0,5 mm, avanço de 700 mm/min e rotação da ferramenta de 3500 rpm. Para o acabamento, a profundidade de corte foi reduzida para 0,2 mm, o avanço foi ajustado para 500 mm/min, e a rotação da ferramenta foi aumentada para 5000 rpm. Em ambas as operações, foi adotado sentido de corte concordante. Para a furação, foi empregada uma broca de aço rápido com ângulo convencional de 118°. Todas as etapas foram executadas por profissionais qualificados, com experiência na área, sendo realizado ajustes e correções nos parâmetros e nas sempre que se fez necessário.

Todas as operações foram realizadas em um Centro de Usinagem CNC, utilizando ferramentas novas e sem óleo refrigerante, para evitar migração de contaminantes de processos anteriores ou químicos.

Para o controle dimensional ao longo de todas as etapas da fabricação e na inspeção final da peça, foram empregados equipamentos de medição de precisão certificados. Um Paquímetro com resolução de 0,01 mm foi utilizado para medir as dimensões gerais, com tolerâncias inferiores a 0,2 mm; um micrometro externo, com resolução de 0,001 mm, para medir da espessura; um relógio apalpador, com resolução de 0,01 mm, para avaliar a planicidade e o paralelismo; e um rugosímetro para medir os acabamentos superficiais das pistas de passagem de produto.

Abaixo está sendo apresentado a parte da lateral esquerda da calha que compõe o kit, após todos os processos de fabricação.



Figura 6: Calha transportador em PET-P T

Abaixo está sendo mostrado a calha transportadora montada e com o copo dosador que é transportado durante o processo.



Figura 7: Calha transportadora em PET-P TX com o copo dosador

Resultados e Discussão

Após a conclusão de todos os processos de manufatura da calha, foram obtidos excelentes resultados, o que se deve ao planejamento detalhado das operações de fabricação e ao acompanhamento rigoroso de cada etapa por profissionais qualificados. Embora os processos tenha sido planejado de forma precisa, foi necessário realizar ajustes em algumas operações e parâmetros ao longo da fabricação para garantir a qualidade final.

Abaixo na tabela 1 está sendo apresentado os resultados obtidos na fabricação da calha em PET-P TX

Tabela 1: Resultados obtidos na fabricação da calha em PET-P TX.

Resultados obtidos na fabricação da Calha em PET-P TX		
Descrição da Etapa	Resultado	Atende ou Não Atende
<i>Tempo de fabricação</i>	<i>6 horas por kit</i>	<i>Atende</i>
<i>Custo</i>	<i>R\$ 2.980,43</i>	<i>Atende</i>
<i>Peso</i>	<i>5,5 Kg por Kit</i>	<i>Atende</i>
<i>Dimensional</i>	<i>Dimensões Gerais e calibradas</i>	<i>Atende</i>
<i>Acabamento externo</i>	<i>Ra 3,2</i>	<i>Atende</i>
<i>Acabamento da pista de transporte</i>	<i>Ra 0,593</i>	<i>Atende</i>
<i>Processos de fabricação</i>	<i>Fresamento Rebarbação Acabamento</i>	<i>Atende</i>

Interpretando a tabela 1 de resultados, verifica-se que todos os requisitos foram atendidos de maneira satisfatória, conforme as especificações técnicas estabelecidas no desenho, além de atender às diretrizes referentes aos acabamentos superficiais.

O tempo de fabricação de 6 horas foi alcançado devido ao planejamento antecipado de cada operação, que considerou o risco de empenamento decorrente dos esforços de corte. Esse planejamento permitiu a definição de parâmetros de usinagem mais baixos do que os convencionais, o que ajudou a evitar deformações indesejadas e a necessidade de correções posteriores na peça, as quais poderiam aumentar o tempo de fabricação, uma vez que correções desse tipo são difíceis de mensurar.

Para fins comparativos, foram levantados os dados relativos à fabricação da calha transportadora em aço inox 316L. A tabela 2 apresenta os valores de ambos os materiais, destacando na qual oferece maior vantagem.

Tabela 2: Comparação calha transportadora em aço Inox 316L com PET-P TX

Comparação Calha transportadora em Inox 316L com PET-P TX			
Descrição da Etapa	Inox 316L	PET-P TX	Vantajoso
Tempo de fabricação	22 horas (Fabricação e etapas de acabamentos)	6 horas por kit	PET-P TX
Custo	R\$ 3.848,57	R\$ 2.980,43	PET-P TX
Peso	12 kg	5,5 Kg por Kit	PET-P TX
Dimensional	Dimensões Gerais e calibradas alcançam o especificado no desenho técnico	Dimensões Gerais e calibradas alcançam o especificado no desenho técnico	Ambos
Acabamento externo	Ra 1,6	Ra 3,2	INOX 316L
Acabamento da pista de transporte	Ra 0,2	Ra 0,593	INOX 316L
Processos de fabricação	Fresamento Rebarbação Soldagem Ajustagem Lixamento Rebarbação Decapagem Polimento Passivação Eletropolimento	Fresamento Rebarbação Acabamento.	PET-P TX

Ao comparar as tabelas, observa-se uma redução no tempo de fabricação de aproximadamente 14 horas. Essa diminuição se deve à simplificação do processo produtivo: a fabricação da calha transportadora em PET-P TX envolve apenas três etapas, enquanto a produção em INOX 316L requer dez etapas. Assim, além da redução no tempo, a diminuição no número de processos contribui para um menor índice de erros. Outro ponto relevante na fabricação com PET-P TX é o uso exclusivo de máquinas CNC, dispensando etapas manuais que, em processos com maior número de peças seriadas, podem gerar variações nos acabamentos.

Em termos de custo, houve redução de R\$ 868,14, resultado da simplificação dos processos e da diminuição das dificuldades associadas à fabricação. Embora o PET-P TX apresente densidade mais baixa que o inox 316L, o custo do material não apresentou valores significativo.

Outro ponto relevante foi a significativa redução de peso, com uma diminuição de aproximadamente 6,5 kg, o que facilita a manipulação durante a desmontagem para limpeza,



CREA
Conselho Regional de
Engenharia e Agronomia



manutenção e trocas de formatos, proporcionando maior ergonomia ao operador. Além disso, essa diminuição de peso resulta em menor carga sobre os componentes do sistema de transporte, o que reduz o consumo de energia e o desgaste do equipamento, prolongando a vida útil.

Em relação às dimensões, ambas as calhas atendem às especificações contidas nos respectivos desenhos e tolerâncias. Quanto ao acabamento, a pista de transporte do copo dosador e os acabamentos externos da calha em INOX 316L apresentam um Ra inferior, resultando em uma superfície mais lisa; no entanto, o PET-P TX cumpre os requisitos estabelecidos.

Embora não mencionado nas tabelas, outro ponto relevante na comparação das calhas está na facilidade de limpeza. A calha em inox 316L, composta por partes unidas por solda, apresenta junções mais propensas ao acúmulo de sujeira, dificultando a limpeza e aumentando a manutenção. Em contraste, a calha em PET-P TX, fabricada de forma íntegra e sem soldas, oferece superfícies contínuas e mais fáceis de limpar, o que reduz o risco de falhas e a possibilidade de corrosão. Esta construção também resulta em maior eficiência operacional, especialmente em ambientes que exigem altos padrões de sanitização, como nas indústrias farmacêuticas.

Em resumo, os resultados obtidos mostram que a escolha do PET-P TX para a fabricação da calha transportadora se mostra não apenas viável, mas também mais vantajosa em diversos aspectos, como eficiência operacional, redução de custos e facilidade de manutenção. A comparação com o a inox 316L evidenciou a superioridade do PET-P TX em termos de tempo e facilidade de fabricação, peso e facilidade de limpeza, sem comprometer os requisitos técnicos e de qualidade.

Conclusões

Com base nesse estudo se evidenciou que o PET-P TX se apresenta como uma alternativa tecnicamente superior ao aço inox 316L para a fabricação de calhas transportadoras, especialmente em setores industriais que demandam alta eficiência e facilidade de manutenção. A adoção do PET-P TX proporciona benefícios significativos em termos de tempo e facilidade de fabricação, redução de custos, diminuição de peso e facilidade de limpeza, atributos que impactam positivamente tanto na eficiência operacional quanto na ergonomia e sustentabilidade dos processos.

Além disso, a construção íntegra da calha em PET-P TX elimina pontos críticos de falha, como soldas e junções, facilitando a manutenção e melhorando a segurança e durabilidade do componente. A análise comparativa também destacou a viabilidade do material em contextos que rigorosos padrões de sanitização, como na indústria farmacêutica, sem comprometer a performance ou os requisitos técnicos.

Embora o PET-P TX tenha se mostrado uma solução vantajosa, e fundamental que sua aplicação seja cuidadosamente analisada conforme as exigências específicas de cada setor. Este estudo não substitui qualquer norma ou diretriz regulatória da ANVISA ou outros órgão reguladores, e sua implementação deve ser realizada dentro dos parâmetros técnicos legais estabelecidos.



CREA
Conselho Regional de
Engenharia e Agronomia



Portanto, o PET-P TX se apresenta como uma solução inovadora, eficiente e sustentável, representando uma alternativa estratégica para fabricação de calhas transportadoras, com potencial de otimizar processos industriais e reduzir custos operacionais em diversas aplicações.

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/orgaos/agencia-nacional-de-vigilancia-sanitaria>>. Acesso em: 2 nov. 2024.

ALMEIDA, Gustavo Spina Gaudêncio. **Engenharia dos polímeros - Tipos de aditivos, propriedades e aplicações**. Rio de Janeiro, RJ: Érica, 2015. 193 p.

ANVISA. **Portal Gov.br – Anvisa, 2021**. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/orgaos/agencia-nacional-de-vigilancia-sanitaria>>. Acesso em: 02 nov. 2024.

ATHICA. **Ertalyte TX - PET-P**. Disponível em: <<https://athica.com.br/ertalyte-tx-2/>>. Acesso em: 2 nov. 2024.

BOEIRA, Alexandre Pitol; BECK, Daniel. **Curso técnico em mecânica industrial: tecnologia dos materiais**. Pelotas, RS: Centro Federal de Educação Tecnológica, 2007. 94 p.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC n.º 658, de 1º de setembro de 2022**. Diário Oficial da União. Brasília, DF: [s.n.] 2022. 72 p.

COMPOSTOS. **O uso do poliacetal (POM) na indústria plástica, 2021**. Disponível em: <<https://www.compostos.com.br/blog/o-uso-do-poliacetal-pom-na-industria-plastica>>. Acesso em: 2 nov. 2024.

DINIZ, Mendes Eduardo; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. [s.l.]: MM Editora, [s.d.]. 242 p.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos materiais**. São Paulo, SP: Editora Edgard Blucher, 1969. 927 p.

FODRA FILHO, Valdir Luis. **Manual: Acabamentos dos aços inoxidáveis**. Belo Horizonte, MG: [s.n.], 1997. 51 p.

LINCK, Cristiano. **Fundamentos da metrologia. 2ed.** Porto Alegre, RS: Sagah, 2017. E-book:167 p.

LOKENS GARD, Erik. **PLásticos industriais: Teoria e aplicações – Tradução da 5ª edição norte americana**. São Paulo, SP: Cengage Learning Brasil, 2014. 612 p.

MANO, Eloisa B. **Introdução a polímeros**. 2. ed. São Paulo, SP: Editora Blucher, 1999. 208p.



CREA
Conselho Regional de
Engenharia e Agronomia



MCAM. **Ertalyte TX - PET-P, 2023.** Disponível em:
<<https://www.mcam.com/en/products/shapes/engineering/ertalyte/ertalyte-tx-pet-p>>. Acesso em: 2 nov. 2024.

OLIVEIRA, Lea Mariza. **Embalagem para produtos farmacêuticos.** Campinas, SP: Instituto de tecnologia de alimentos, 1997. 4 p.

PLÁSTICO. **O que é polietileno tereftalato (PET), 2024.** Disponível em:
<<https://www.plastico.com.br/o-que-e-polietileno-tereftalato-pet/>>. Acesso em: 2 nov. 2024.

POLYBRASIL. **Chapas UHMW. Polybrasil, 2023.** Disponível em:
<<https://polybrasil.com.br/chapas-uhmw/>>. Acesso em: 01 nov. 2024.

TEBECHERANI, Ciro de Toledo Piza. **Artigo: aços inoxidáveis.** Pelotas, RS: Centro Federal de Educação Tecnológica, [s.d.]. 24 p.