



PROJETO DE GRADUAÇÃO

ANÁLISE DE ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA SUBSTITUIÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS SINTÉTICAS DOS CALÇADOS CASUAIS

Por,
Yago Calisto de Carvalho

Brasília, 02 de Maio de 2022

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**ANÁLISE DE ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS
PARA SUBSTITUIÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS
SINTÉTICAS DOS CALÇADOS CASUAIS**

POR,

Yago Calisto de Carvalho

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Banca Examinadora

Prof. Dra. Sandra Maria da Luz, UnB/FGA
(Orientadora)

Prof. Dr. Eder Lima de Albuquerque, UnB/ENM
(Co-orientador)

Prof. Dr. Daniel Monteiro Rosa, UnB/ENM

Prof. Dra. Rosineide Miranda Leão, UNIP

Brasília, 02 de Maio de 2022

RESUMO

Os processos industriais passam por um momento de preocupação e adoção de medidas de cunho sustentável, buscando diminuir os impactos causados ao meio ambiente. Desta forma, o setor calçadista tem criado alternativas para melhorar seu sistema de produção, e este trabalho analisa a adoção de matérias-primas sustentáveis neste mercado. Através do processo de revisão sistemática da literatura, foi feito um estudo de caso com 52 referências devidamente selecionadas para definição dos insumos mais sustentáveis geralmente utilizados. Estes insumos podem ser biopolímeros, biocompósitos ou materiais reciclados, todos compõem os biomateriais, substâncias produzidas a partir de elementos orgânicos ou sintéticos reciclados que visam substituir matérias-primas que impactam negativamente o meio ambiente. E para sua análise, é necessário um estudo do setor calçadista, deste modo, foi feita uma análise temporal de insumos básicos desse setor, definição das matérias-primas de destaque atualmente e seus processos de produção, para criar uma base de comparação com os biomateriais e entender ganhos e perdas da sua inserção na categoria. Do ponto de vista da sustentabilidade, conclui-se que a inserção de biomateriais favorece o meio ambiente a título de diminuição de níveis CO₂ dispersos no ar, diminuição do esgotamento de recursos hídricos na produção desses materiais e diminuição na produção e consumo de materiais sintéticos. Como as principais lacunas desse mercado foram definidas: falta de maturidade desses materiais como produtos e elementos científicos; baixa parcela de recursos destinados a esse tema dentro do setor; alta concentração de alternativas ecológicas em um pequeno número de empresas e o alto preço das tecnologias de fabricação dessas matérias-primas.

Palavras-chave: Tênis, Sustentabilidade, Biomateriais

ABSTRACT

The industrial production has been going through a moment of adoption of sustainable alternatives, which aim to decrease the environmental impacts. Thus, the footwear industry has been creating technologies to improve its production system, and this project analyses the introduction of sustainable materials in this market. By means of a systematic review, a case study, based in 52 properly selected references, was made to determine the most sustainable materials used nowadays. Those could be biopolymers, biocomposites or recycled materials, substances made of organic elements or recycled synthetics that target to replace materials that have a negative impact on the environment. The analysis recall for a study of the footwear industry in a matter of materials used in the history of shoes, determination of the most important materials nowadays and its production processes, therefore build a case to compare bio and regular materials, by its strengths and weaknesses. Regarding the sustainable point of view, the biomaterials helps with the reduction of CO₂ thrown in the air, the reduction of freshwater withdrawal and the reduction of production and consumption of synthetic materials. The liabilities found for the usage of biomaterials in the footwear market are: the lack of experience as products and scientific elements, small share of resources destined to that matter, high concentration of ecological alternatives in few companies and the high price applied to sustainable technologies.

Keywords: Sneakers, Sustainability, Biomaterials.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	Revisão Histórica dos Calçados e seus Materiais	11
2.2	O Contexto do Mercado Calçadista no Brasil	14
2.3	Tênis e seus Processos de Obtenção	16
2.4	As Matérias-Primas de um Tênis.....	20
2.5	Tecnologias e Insumos Sustentáveis Aplicados ao Setor	26
3	METODOLOGIA	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1	Trajetória dos insumos naturais no mercado calçadista.....	36
4.2	Inovações Sustentáveis para Partes Específicas do Tênis	41
5	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
	APÊNDICE A	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Folheto publicitário do Keds, primeiro tênis da história. Fonte: (SHOES AND FEET, 2019).....	11
Figura 2 - Como emissões de carbono se tornam a espuma CleanCloud. Fonte: adaptado de (BOREALIS, 2021).....	12
Figura 3 - Análise histórica dos tênis por linha do tempo de 1860 a 1972 (a). E de 1990 a 2020 (b). TPU (Poliuretano Termoplástico). Fonte: adaptado de (ALGER, 2017; BBC, 2021; SAUNDERS, 2017)	13
Figura 4 - Segmentação da produção brasileira de calçados por região. Fonte: (ABICALÇADOS, 2020).....	14
Figura 5 - Segmentação da Produção Brasileira de calçados por tipo de uso em pares. Fonte: (ABICALÇADOS, 2020).....	15
Figura 6 - Produção de calçados no Brasil por material predominante. Fonte: (ABICALÇADOS, 2019).....	16
Figura 7 - Representação esquemática das partes de um calçado. Fonte: Adaptado de (BLUSOL, 2021).....	17
Figura 8 - Representação da fabricação de um cabedal por meio de impressão 3D, produção do calçado Nike Zoom Vaporfly Elite Flyprint. Fonte: (NIKE, 2018)	19
Figura 9 - Principais matérias-primas de calçados, agrupadas em cabedais e solados. Fonte: (LEE; RAHIMIFARD, 2012)	26
Figura 10 - Yeezy Foam Runner, calçado a base de Algas e EVA. Fonte: (PINEAPPLE CO., 2021).....	29
Figura 11 - Adidas Mylo Stan Smith, tênis que utiliza micélio para produção do cabedal (a) e Sneature, tênis que utiliza micélio para produção do seu solado (b). Fonte: (ADIDAS, 2021; AHUJA, 2021)	30
Figura 12 - Corre Eco 1, calçado a base de EVA Verde com origem no Etanol da Cana-de-Açúcar. Fonte: (OLYMPIKUS, 2021)	31
Figura 13 - Proporção de tipos de biopolímeros encontrados em pesquisa	32
Figura 14 - Market Size de óleos vegetais por região	32
Figura 15 - (a) Volume de produção de plástico mundial de 2014 a 2018. (b) Proporção de garrafas PET recicladas, no ano de 2018, em diferentes países. Fonte : (SHANMUGAM et al., 2020).....	33
Figura 16 - Matérias-primas de solados dos anos de 1990 a 2021. NR (Borracha Natural), PU (Poliuretano), TPU (Poliuretano Termoplástico), EVA (Acetato-vinilo de Etileno), PVC (Policloreto de Vinila), PP (Polipropileno), SR (Borracha Sintética), PE (Polietileno).	36
Figura 17 - Matérias-primas de cabedais dos anos de 1990 a 2021. TNT (Tecido Não-Tecido), PU (Poliuretano), PVC (Policloreto de Vinila), TPU (Poliuretano Termoplástico), EVA (Acetato-vinilo de Etileno), r-PET (Politereftalato de Etileno Reciclado).	37
Figura 18 - Quantidade de estudos sobre materiais mais sustentáveis no período de 2015 a 2021	38
Figura 19 - Parcelas de calçados com tecnologias sustentáveis próprias e terceiras	40
Figura 20 - Insumos sustentáveis aplicados a Solados.....	41
Figura 21 - Insumos sustentáveis aplicados a Cabedais.....	41
Figura 22 - Quantificação de Mudança Climática e Água Utilizada na produção de Biomateriais. Fontes: (BRASKEM, 2021; DUPONT TATE & LYLE, 2018; FEHRINGER, 2017; INSIDER, 2019).....	44
Figura 23 - Distribuição de Insumos Sustentáveis no Brasil. Fonte: (ABICALÇADOS, 2021a)	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Origem, comportamento e desempenho mecânico dos principais polímeros para solados (CANEVAROLO JR., 2006; DROBNY, 2014).	21
Tabela 2 - Comparativo das propriedades dos principais polímeros para solados (NIKE GRIND, 2021; WIEBECK; HARADA, 2005).	22
Tabela 3 - Origem, comportamento e desempenho mecânico dos principais polímeros para cabedais (CANEVAROLO JR., 2006; DROBNY, 2014).....	24
Tabela 4 - Comparativo das propriedades das principais fibras para cabedais (CANDIDO, 2021; HOSSEINI RAVANDI; VALIZADEH, 2011; NIKE GRIND, 2021; PRECISION URETHANE & MACHINE, 2022)	25
Tabela 5 - Valores de impactos ambientais por ciclo de vida de calçados. Fonte: (QUANTIS, 2018).....	27
Tabela 6 - Propriedades referentes à materiais sustentáveis. Fonte: (DUPONT TATE & LYLE, 2018; FERNANDES et al., 2019, 2021; KARTIK et al., 2021; MATERIAL DISTRICT, 2016; NIEDL; HACKL, 2020).....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CO ₂	Gás Carbônico
EVA	Acetato-Vinilo de Etileno
TPU	Termoplastic Polyurethane (Poliuretano Termoplástico)
PVC	Policloreto de Vinila
CAD	Computer-Aided Design (Desenho Auxiliado por Computador)
FDM	Fused Deposited Modeling (Modelagem por Deposição Fundida)
NR	Natural Rubber (Borracha Natural)
SR	Synthetic Rubber (Borracha Sintética)
TR	Termoplastic Rubber (Borracha Termoplástica)
PET	Polietileno Tereftalato
PU	Poliuretano
PP	Polipropileno
PE	Polietileno
TNT	Tecido Não-Tecido
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho pretende demonstrar o estudo de tecnologias sustentáveis presentes no setor calçadista, com foco na inserção de matérias-primas ecológicas e do ponto de vista da sustentabilidade ambiental. O processo de lapidação dessa ideia exigiu um estudo geral do cenário calçadista, que permeiou desde o entendimento de mercado, definição de elementos essenciais do calçado, estudo de materiais e suas principais contribuições no sentido de mitigações de impactos ambientais.

O mercado calçadista é um setor de grande expressão nacional, sendo o Brasil o quarto maior produtor mundial. A representação desse potencial é percebida em sua grande movimentação econômica e a grande influência de alguns estados que se tornaram pólos calçadistas no país. Uma investigação mais profunda desse setor permitiu identificar e analisar que os polímeros, laminados sintéticos e couro são suas principais matérias-primas, os quais impactam negativamente o meio ambiente. A análise desse mercado e seus insumos contribui positivamente para o projeto atestando a relevância do estudo da inserção de biomateriais para o setor calçadista (ABICALÇADOS, 2020).

Tendo conhecimento dos impactos produzidos por atividades industriais, é sabida a necessidade da realização de mudanças nos processos de produção de bens materiais e a utilização de insumos sustentáveis. No setor calçadista, os biomateriais, substâncias ecológicas produzidas por elementos naturais ou materiais reciclados, buscam reproduzir a qualidade dos materiais sintéticos. Neste trabalho, uma análise aprofundada das alternativas em biomateriais destacou três tipos: os biopolímeros, os biocompósitos e os materiais reciclados (BOREALIS, 2021; FERNANDES et al., 2021; MORBY, 2017; ZIELENIEWSKA et al., 2015).

Biopolímeros, biocompósitos e materiais reciclados são soluções pioneiras que buscam solucionar os problemas causados pelo setor, os impactos relacionados à sustentabilidade são muito positivos, mas ainda falham ao tentar atingir o desempenho mecânico necessário, o que não retira totalmente a dependência dos materiais sintéticos. Entretanto, é necessário entender a situação como um todo, analisando o processo histórico da inserção desses materiais e qual o nível de importância dessas medidas dentro do setor. Sob esse contexto, são feitas análises de composição, processos de obtenção e impactos ambientais; com resultados que são comparados diretamente com os principais materiais sintéticos em uso no mercado.

É importante mencionar, que a literatura é escassa em análise conjunta de alternativas mais sustentáveis para o setor calçadista. Há muita literatura voltada para uso e desenvolvimento de determinado material alternativo, entretanto não se tem estudos

consolidando essas informações. É de extrema importância, que para aplicação das tecnologias, suas contribuições devem ser compiladas para que fique mais fácil a tomada de decisão em torno da seleção adequada de materiais.

Portanto, a principal contribuição deste trabalho é aplicar a metodologia de revisão bibliográfica sistemática, que segue os parâmetros de MAJUMDER; DYKE, 2015 para análise literária e compilação de estudos. Assim sendo, este trabalho tem por objetivo analisar as tecnologias sustentáveis, referentes à matérias-primas, existentes em mercado e laboratório, direcionadas a solados e cabedais, e compará-las com os materiais de maior relevância no mercado, apontando qualidades, defeitos e definindo aquelas de maior destaque, oferecendo base para estudos posteriores e conhecimento a ser utilizado como ferramenta para decisões de empresas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Revisão Histórica dos Calçados e seus Materiais

A matéria-prima de um produto é um reflexo de sua época e quão avançado é o mercado em dado período histórico, o descobrimento e análise desses insumos permitem a definição de dois importantes fatores: o entendimento da necessidade do consumidor e os limites da ciência na época. Estendendo esta ideia ao setor calçadista e fazendo uma análise temporal, tanto as demandas do consumidor como os limites da ciência sofreram diversas mudanças, e uma forma de expor essas divergências é analisando períodos históricos diferentes. Expondo este fato com mais clareza, segue uma apresentação do primeiro calçado esportivo lançado em 1892, e da inovação de destaque do setor calçadista em 2021. Uma diferença de mais de 100 anos de mercado demonstra o nível de evolução adquirido .

O primeiro tênis foi produzido em 1892 pela Keds, uma subdivisão da Goodyear, que buscava, através do novo estilo de sapato, garantir um calçado mais apropriado para atividades físicas, era composto por um solado de borracha, cabedal de lona e cadarços de pano (CHILTON, 2020). A Figura 1 apresenta um folheto publicitário de 1928, época em que o calçado se tornou popular.



Figura 1 - Folheto publicitário do Keds, primeiro tênis da história. Fonte: (SHOES AND FEET, 2019)

Já em 2021 as empresas On e CleanCloud se uniram para produção de um solado que tem como matéria-prima o CO₂, um dos principais gases poluentes ao meio ambiente. A tecnologia capta esse gás, o liquefaz para formação de um etanol que é desidratado, para então criar uma espuma de EVA (acetato-vinilo de etileno), que será utilizada como solado de calçados de corrida (BOREALIS, 2021). A Figura 2 apresenta o processo detalhado de transformação das emissões de gás carbônico em espuma de EVA.



Figura 2 - Como emissões de carbono se tornam a espuma CleanCloud. Fonte: adaptado de (BOREALIS, 2021)

As Figura 1 e Figura 2 resumem, de forma básica, as diferenças tecnológicas e de objetivo do mercado calçadista, em períodos históricos distintos, e a contribuição da evolução científica dentro desse setor, o que abre margem para um aprofundamento de como se deu este desenvolvimento. Dito isso, a Figura 3 apresenta alguns fatos importantes da história dos calçados, apresentando como se deu a evolução deste mercado entre os anos de 1860 e 2020.

De acordo com o exposto, a história dos calçados passa por um longo período de aprimoramento tecnológico que durou mais de 100 anos para que, apenas atualmente, começasse a preocupação com processos de produção sustentáveis. O aperfeiçoamento deste produto teve como base um aumento na variedade de suas matérias-primas, de 1860 a 2020. Houve um crescimento de mais de 5 vezes mais insumos diferentes para produção de um tênis, um exemplo que mostra que a chave da evolução tecnológica vem da tentativa e erro. Por outro lado, de forma tardia, o mercado calçadista começa a se preocupar com o seu impacto ao meio ambiente e toma iniciativas que entrem em sintonia com a mentalidade sustentável, de toda forma, esse processo teve seu início e toda bagagem científica adquirida até o presente momento

serviu de combustível para inovações que trazem harmonia entre a indústria calçadista e o meio ambiente (ALGER, 2017)



Figura 3 - Análise histórica dos tênis por linha do tempo de 1860 a 1972 (a). E de 1990 a 2020 (b). TPU (Poliuretano Termoplástico). Fonte: adaptado de (ALGER, 2017; BBC, 2021; SAUNDERS, 2017)

A evolução dos calçados segue de acordo com a necessidade e finalidade que o mercado pede, e as matérias-primas utilizadas são marcas desse desenvolvimento. O claro aumento na variedade dos insumos representa a adaptação ao mercado e à eficiência de um produto que não é apenas um item de vestimenta, mas uma ferramenta de trabalho.

Uma vez que seu histórico foi abordado, em um próximo tópico, será discutido o contexto econômico nos mercados, internacional e nacional. A partir da ideia de que a evolução tecnológica acompanha o crescimento de um produto como bem material, o próximo tópico tratará do volume de produção mundial e nacional, e segmentação desse setor nacionalmente.

2.2 O Contexto do Mercado Calçadista no Brasil

O mercado calçadista brasileiro é um setor de expressão econômica a nível mundial. O Brasil é o quarto maior produtor de calçados do mundo, ficando atrás apenas de China, Índia e Vietnã. Esse lugar no ranking mundial é representado por 904 milhões de pares produzidos no ano de 2018. Ao mesmo tempo, o Brasil é o quarto maior consumidor e o décimo primeiro exportador mundial (ABICALÇADOS, 2020).

A eficácia desse mercado no Brasil é graças à força dos principais pólos de produção de calçados no país. A Figura 4 apresenta a segmentação da produção calçadista em cada região do país. Os valores apresentados são do ano de 2019.

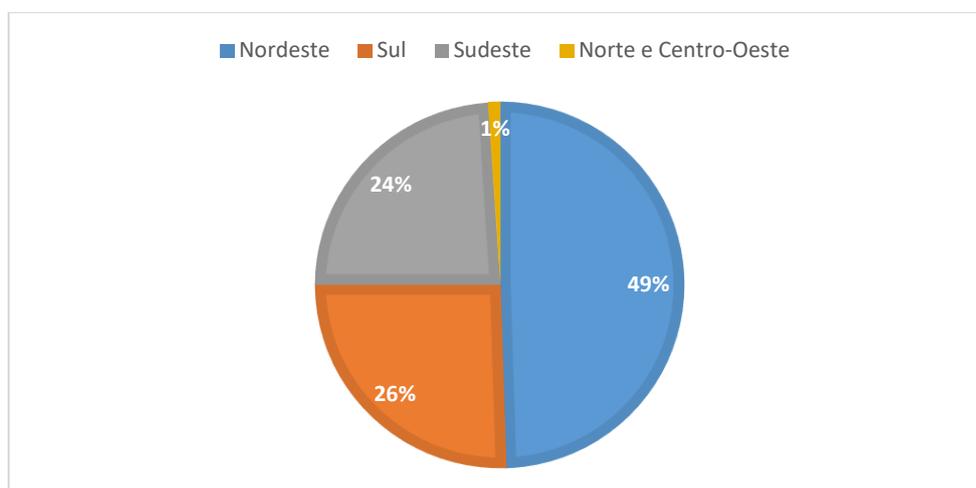


Figura 4 - Segmentação da produção brasileira de calçados por região. Fonte: (ABICALÇADOS, 2020)

A divisão expõe Nordeste, Sul e Sudeste como as principais regiões produtoras de calçados no país e dentre essas regiões existem estados que são pólos calçadistas, sendo esses: Rio Grande do Sul, Ceará e São Paulo. Esses três pólos lideram o país no volume comercial de exportações com um montante de US \$91,28 milhões gerados para a economia nacional em 2019 (ABICALÇADOS, 2021b).

Como explicitado, o Brasil é um dos principais produtores mundiais de calçados, e para entender a causa da potência desse mercado é necessário destrinchar os bens gerados por esse setor. A Figura 5 apresenta a segmentação dos produtos gerados pelo mercado calçadista brasileiro no ano de 2019.

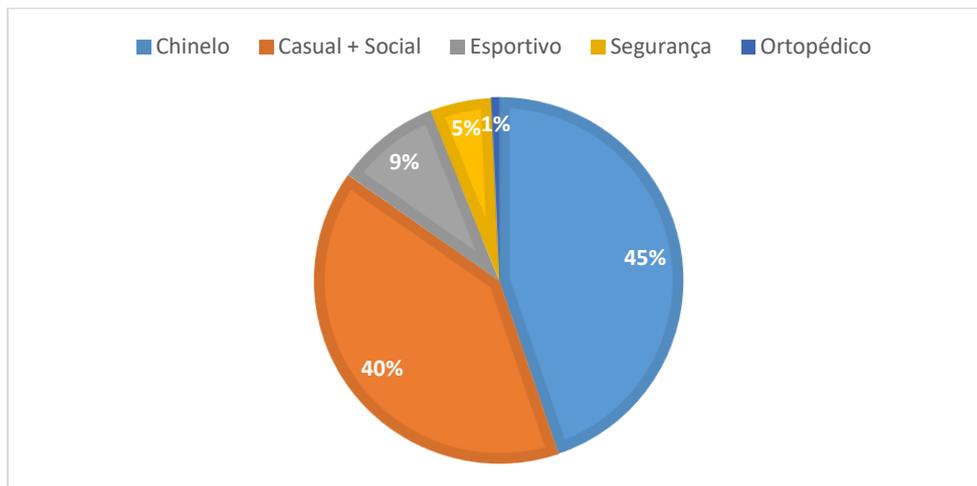


Figura 5 - Segmentação da Produção Brasileira de calçados por tipo de uso em pares. Fonte: (ABICALÇADOS, 2020)

Observa-se que chinelos e calçados casuais são os produtos de maior fabricação do mercado. O primeiro é definido pelo próprio nome, sendo um item indispensável para todo brasileiro, e os segundo tipo de calçado, casuais e sociais, sendo compostos por tênis simples e sapatos formais.

O estudo da posição internacional do país no mercado, entendimento dos pólos calçadistas nacionais e o conhecimento de toda cadeia de produção permite chegar ao principal tema dessa análise. Os materiais de maior expressão do setor calçadista brasileiro, tema abordado na Figura 6, mostra quais matérias-primas têm maior representação nos produtos fabricados no país.

Fazendo uma análise da representação de cada material apresentado na Figura 6, temos o Couro, material de origem animal responsável pela produção de cabedais de sapatos sociais e sandálias de uso cotidiano. Esse material já teve maior expressão na produção nacional, entretanto as alternativas sintéticas estão tomando seu lugar dado o baixo custo e facilidade de produção. O laminado sintético é um material constituído de uma ou várias camadas plásticas, usualmente PVC (Policloreto de vinila) ou Poliuretano, em sua superfície, e mais um tecido utilizado como reforço, é a principal matéria-prima dos cabedais, partes superiores dos calçados; suas boas propriedades mecânicas, facilidade de produção e baixo custo fizeram com que esse material ultrapassasse o couro. Por fim, os polímeros plástico/borracha se apresentam como os principais materiais da produção calçadista brasileira, sendo componente indispensável na produção de chinelos e material base para o solado de sapatos: casuais, sociais, de segurança e ortopédicos, tipos apresentados na Figura 5, o que esclarece a importância desse elemento no mercado (AMPLAST, 2014).

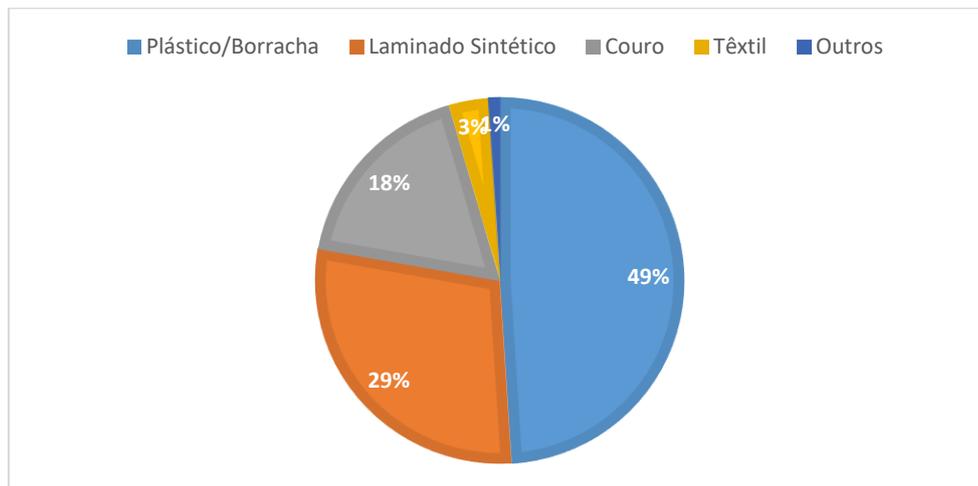


Figura 6 - Produção de calçados no Brasil por material predominante. Fonte: (ABICALÇADOS, 2019)

Os dados apresentados expõem uma visão macro do setor como um todo, contudo, a fim de salientar ainda mais a importância dos polímeros nesse mercado, serão mostradas informações mais aprofundadas e mais condizentes com o dia a dia nas fábricas, conhecimentos do estudo de 2011 do setor coureiro-calçadista de Franca. Os quais 24% de produção desse pólo é de solados poliméricos e 15% na fabricação de palmilhas. Desta forma, 39% desse setor trabalha com polímeros, participando de quase metade de todo processo de produção deste pólo (SINDIFRANCA; IEMI, 2011)

A análise do setor calçadista brasileiro abordou a representação internacional do país nesse setor, seus principais produtos e quais seus materiais fundamentais. Nesse cenário, observa-se a presença significativa de insumos sintéticos, polímeros e laminados e de fibras animais, materiais que agridem o meio ambiente. Tendo em vista tal conclusão, este trabalho tem sua importância atestada e possivelmente pode agregar ao processo de produção calçadista brasileiro.

De acordo com o conhecimento de mercado, segue-se para o detalhamento dos elementos que constituem um calçado, solado e cabedal, e como a união destes elementos forma o produto. Serão abordados a descrição e função de cada elemento e os processos de produção dos calçados.

2.3 Tênis e seus Processos de Obtenção

Um tênis é constituído de dois principais componentes: o cabedal e a sola, o cabedal é a parte superior do calçado e tem a função de proteger e promover conforto à parte superior dos pés. Já o solado é a parte que está em contato com o solo e tem função de gerar tração e

estabilidade ao caminhar. A sola pode ainda ser dividida em três partes: palmilha, entressola e sola. A palmilha é responsável pelo conforto e correção e/ou compensação de alterações biomecânicas posturais; a entressola é responsável pela absorção do impacto, utilizada em calçados esportivos; e a sola é responsável pela tração, durabilidade e estabilidade (SINBI; SENAI, 2008). Todos os principais componentes de um calçado são apresentados na Figura 7, que faz um corte seccionado apontando cada elemento.

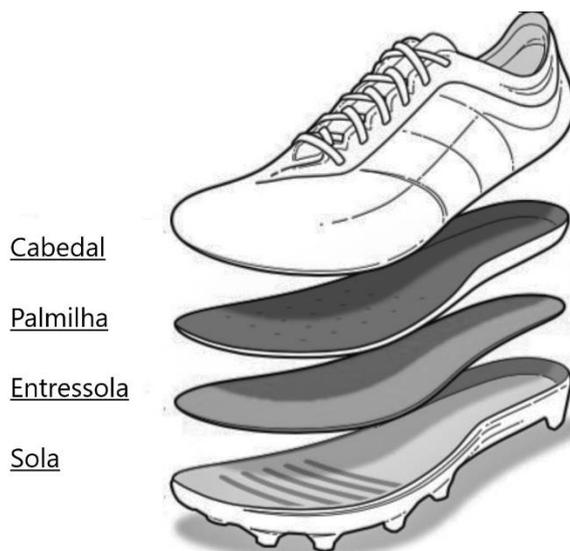


Figura 7 - Representação esquemática das partes de um calçado. Fonte: Adaptado de (BLUSOL, 2021)

A fabricação de um calçado se concentra na produção do cabedal e da sola separadamente para a seguinte união dessas partes. Em resumo, o processo de produção de um tênis se inicia em um escopo do seu design, seguido pela definição do produto físico em CAD (do inglês “computer-aided design”, traduzido como desenho auxiliado por computador), seguido pela fabricação de solas através da moldagem, seguido pelo processo de costura do cabedal, e por fim, a união do cabedal a sua respectiva sola (MOTOWI, 2018).

O avanço tecnológico no mercado calçadista iniciou uma busca por novos materiais que garantem uma maior efetividade em seu uso, e foi a partir dessas medidas que os processos de produção foram diversificados. Tanto o solado, quanto o cabedal passaram por diversas mudanças, visto que a inovação tecnológica dos seus insumos resultou numa pluralidade de novos materiais, que por sua vez, acarretaram numa multiplicidade de processos de conformação mecânica. O entendimento desses processos é parte fundamental para este trabalho e, para o estudo em questão, foram separados entre solados e cabedais, dada a diferença

de cada material. A respeito dos solados, caso o material seja uma borracha, seus processos de produção são: moldagem, extrusão e calandragem; caso o material seja um termoplástico seus processos de produção são: extrusão, moldagem por injeção, moldagem rotacional e moldagem por sopro. A respeito dos cabedais, caso o material seja um tecido natural ou sintético, seu processo de produção é o corte e costura; caso o material seja um termoplástico, seu processo de produção pode ser a extrusão e a impressão 3D (CANEVAROLO JR., 2006; HARPER, 2005).

Seguindo a ordem apresentada, cada processo exposto será especificado, tendo início nos processos referentes aos materiais de solados e terminando naqueles referentes aos materiais do cabedal. Para solados serão apresentados os processos de moldagem, extrusão e calandragem.

A moldagem é o processo mecânico no qual um material é acomodado em molde, e quando esse material se encontra curado e solidificado toma a forma desse molde. O modo como esse material é acomodado depende dos procedimentos de moldagem, como moldagem simples, por injeção, rotacional ou por sopro. Primeiramente, a moldagem simples é feita pelo manuseio de um material fundido e aplicação diretamente dentro do molde; Já a moldagem por injeção consiste em forçar, através de uma rosca simples, a entrada de material fundido para o interior da cavidade de um molde; A moldagem rotacional (ou Rotomoldagem) é feita para produção de peças ocas ou abertas, geralmente de grandes dimensões. Configura-se de um molde oco, abastecido com resina em pó ou líquida, colocado em uma câmara aquecida, girando em dois movimentos com rotações baixas e distintas; Por fim, a moldagem por sopro é uma técnica que produz objetos ocos, com materiais termoplásticos. O processo tem início através de um tubo plástico fundido (Parison ou Pré-forma) que é colocado entre duas metades de um molde que tenha cavidades ocas, o ar é soprado no tubo e este se expande até se encontrar com as paredes do molde, o tubo é resfriado e retirado do molde contendo as dimensões internas do molde (RIBEIRO JR. et al., 2004; UEKI; PISANU, 2007).

Em seguida, serão abordados os processos de extrusão e calandragem. Esses processos modificam a geometria do material por deformação plástica, através de forças empregadas por ferramentas adequadas. A extrusão é um processo no qual o material é forçado através de uma matriz, praticamente qualquer forma de seção transversal vazada ou cheia pode ser produzida por extrusão. A calandragem é um processo no qual um plástico fundido é colocado entre rolos aquecidos a fim de obter uma espessura característica, tomando a forma de um lençol. É um processo muito utilizado na produção de borracha (CHANDRASEKARAN, 2012; MORO; AURAS, 2009).

Para cabedais serão apresentados impressão 3D, corte e costura e a extrusão. A impressão 3D é definida pela transformação de um modelo virtual em uma peça tridimensional, no qual há a união dos cortes bidimensionais que, quando sobrepostos, formam uma peça sólida. Existem formas variadas de impressão 3D, pois cada material utilizado compõe uma forma diferente de impressão. Entretanto, dentro do setor calçadista, o material utilizado é o termoplástico e para este material é empregada a laminação e extrusão polimérica, ou método FDM (do inglês “fused deposited modeling”). Este método se baseia no uso de filamentos termoplásticos que são aquecidos por um bico metálico até um estado semifundido e então extrudado sobre a superfície de impressão, seguindo os parâmetros virtuais criam uma peça 3D (DE ANDRADE et al., 2020). A Figura 8 apresenta tal procedimento utilizado pela *Nike* para fabricação de cabedais para tênis de corrida.

Seguindo os mesmos parâmetros da impressão 3D, mas com finalidade diferente, a extrusão, incorporada aos cabedais, é um processo de transformação da matéria-prima para uma forma em que esta possa ser utilizada dentro do setor calçadista. Tal como apontado anteriormente, a extrusão é um processo no qual o material é forçado através de uma matriz, praticamente qualquer forma de seção transversal vazada ou cheia pode ser produzida por extrusão, e, neste caso em especial, o resultado é a criação de fios que formarão as tramas que dão forma ao cabedal de diversos calçados (SARIOĞLU; KAYNAK, 2018).

E o último método é o corte e a costura, que fecha o ciclo de obtenção das matérias-primas e é responsável pela transformação dos insumos em cabedais funcionais.



Figura 8 - Representação da fabricação de um cabedal por meio de impressão 3D, produção do calçado Nike Zoom Vaporfly Elite Flyprint. Fonte: (NIKE, 2018)

Muito já foi abordado sobre o produto e métodos de fabricação dos calçados, com um enfoque em tênis, o próximo passo é a análise dos materiais que compõem esse mercado, apontando os mais relevantes ao setor e quais propriedades definem estes materiais.

2.4 As Matérias-Primas de um Tênis

Como já demonstrado, um tênis é separado em algumas partes e cada uma executa uma função diferente, da mesma forma, existem matérias-primas específicas para cada função. De acordo com as partes que compõem um tênis, pode-se separar seus elementos em dois grandes grupos: solado e cabedal, e é com base nestas partes que serão explicados esses insumos.

Os primeiros tênis foram fabricados para ajudar o consumidor no conforto e aumento de eficácia na realização de atividades físicas, empresas de borracha foram as precursoras desse movimento, fazendo da borracha o principal material na produção de solados, e desde este tempo até hoje, polímeros são os materiais de maior relevância para calçados (ALGER, 2017; CHILTON, 2020). Desde a produção dos primeiros tênis, os solados eram o único destino dos polímeros, mas a evolução tecnológica deste material o fez com que hoje ele possa ser utilizado como matéria-prima para todas as partes de um tênis (LEE; RAHIMIFARD, 2012). Portanto, compreender o que é e quais as principais propriedades deste material, irá elucidar sobre o porquê da sua importância para o setor. Dessa forma, será apresentada uma análise aprofundada de classificações, comportamentos e desempenhos mecânicos de polímeros e como tais características tornam esses materiais essenciais para o setor calçadista.

É importante lembrar que um solado é constituído de três partes: *insole* (palmilhas), *midsole* e *outsole* (solado), e em todas o polímero é a principal matéria-prima. A compreensão desta relação, entre solado e polímero, se dá pela interpretação da funcionalidade de uma sola, que é definida como a parte do calçado que está em contato direto com o solo e auxilia no ato de caminhar, garantindo tração, durabilidade, estabilidade e conforto aos pés, condições precisamente atingidas por meio do desempenho mecânico característico a um polímero (HUSNA; AZURA, 2020; SINBI; SENAI, 2008; SREWARADACHPISAL et al., 2020)

Dentre os polímeros de maior uso no setor calçadista, para a produção de solados, cinco se destacam, e a Tabela 1 expõe estes polímeros junto a origem, comportamento e desempenho mecânico definidos por CANEVAROLO JR., 2006. Dada a evolução tecnológica dos polímeros, não houve espaço de desenvolvimento para substâncias naturais, como a borracha, as propriedades adquiridas em laboratório permitiram que esses materiais pudessem ser melhores ferramentas mecânicas com propriedades bem mais eficientes, características que se

tornaram essenciais a esse setor. Outro importante fator observado é a termoplaticidade, este tipo de polímero possibilita a produção de solas mais eficientes com um consumo menor de matérias-primas, o que se traduz numa redução significativa no custo pela utilização de equipamentos de processamento automatizado. Isto se deve a sua alta capacidade de ser moldado, somado a elevada resistência à tração e à fadiga, que se adaptam à utilização em calçado (CTCP, 2012).

Tabela 1 – Origem, comportamento e desempenho mecânico dos principais polímeros para solados (CANEVAROLO JR., 2006; DROBNY, 2014).

Material	Origem	Comportamento Mecânico	Desempenho Mecânico
Borracha Natural – NR (cis-Poliisopropeno)	Natural	Elastômero	Borracha Vulcanizada
Borracha Sintética – SR (Copolímero de butadieno e estireno)	Sintética	Elastômero	Borracha Vulcanizada
Borracha Termoplástica – TR	Sintética	Termoplástico	Termoplástico de Engenharia Especial
TPU (Poliuretano Termoplástico)	Sintética	Termoplástico	Termoplástico de Engenharia Especial
EVA (Copolímero de etileno e acetato de vinila)	Sintética	Termoplástico	Termoplástico Especial
PVC (Policloreto de Vinila)	Sintética	Termoplástico	Termoplásticos Convencionais

Seguindo a etapa de classificações, a Tabela 2 apresenta as características identificadas nos polímeros quando utilizados como matéria-prima para solados. Observa-se um destaque à resistência à tração e à elasticidade nestes materiais, ambas propriedades que refletem o regime de uso a que solados são impostos, decorrência de constantes deformações e forças aplicadas à sola. As propriedades evidenciadas garantem que o solado resista aos impactos do ato de andar e dissipe a energia absorvida, para que a força desses impactos seja amenizada quando em contato com pernas e pés do usuário do tênis, contribuindo para o conforto e estabilidade durante o uso do calçado (HUSNA; AZURA, 2020).

Tabela 2 - Comparativo das propriedades dos principais polímeros para solados (NIKE GRIND, 2021; WIEBECK; HARADA, 2005).

Polímero	Características como solado
Borrachas	Elasticidade; Baixa absorção de líquidos; Boa absorção de som e força.
TPU	Elasticidade; Resistência à tração; Resistência à abrasão; Facilidade de remodelagem.
EVA	Elasticidade; Isolamento Térmico; Boa absorção ao choque; Baixa absorção de líquido.
PVC	Leveza; Resistência à abrasão.

Por outro lado, há uma outra parte essencial aos calçados, o cabedal, componente dos calçados que cobre a parte superior do pé, sua finalidade, como elemento de engenharia, é de cobertura, conforto, proteção da parte superior do pé e de suporte estrutural do calçado (GOONETILLEKE, 2012; SINBI; SENAI, 2008).

O cabedal é a parte que é vestida pelo usuário, logo é importante que o material que o componha contribua para o conforto durante toda tensão que seu uso traga consigo. Com base nas demandas atribuídas a um calçado, as principais propriedades analisadas são: espessura,

peso, permeabilidade do ar, conforto térmico, resistência à tração e molhabilidade, essas são características que medem a efetividade mecânica de um material como item de vestimenta. Dentre os materiais que satisfazem essas condições, dois tipos se destacam, aqueles de origem sintética e aqueles de origem natural (LEE; OBENDORF, 2007; SLATER, 1996).

Os materiais de origem sintética são formados, basicamente, por polímeros, tendo entre os principais: poliéster, poliuretano, nylon, couro sintético, etc. Se destacam para aplicação de cabedais características como: peso, baixa absorção de líquido, conforto, resistência à tração e maleabilidade, características que tornam polímeros ótimos para a aplicação em questão. (WIEBECK; HARADA, 2005)

Por outro lado, existem os materiais de origem natural, elementos advindos de procedência animal ou vegetal. Lã, camurça, couro, algodão, cetim e seda, representam as fibras naturais de destaque. Para aplicação em cabedais, as características principais são: espessura, permeabilidade do ar, conforto térmico e resistência à tração (JUNIOR, 2017). Em seguida, são definidas origem e definições de fibras naturais de origem vegetal e animal.

As fibras naturais de origem vegetal advém de sementes, caules, folhas e frutos, sendo responsáveis pela proteção física e química da planta durante toda a sua vida. São encontradas em abundância na flora brasileira e são de fácil extração, em comparação com os demais tipos de fibras naturais. Essas fibras são as melhores alternativas quando não é necessário o uso de fibras sintéticas, pois são de fácil extração e replantio, contribuem para o desenvolvimento sustentável e tem propriedades mecânicas significativas sendo encontradas na indústria automotiva, civil e calçadista (PIRES, 2009).

As fibras naturais de origem animal são aquelas advindas da secreção de alguns insetos ou na retirada de pêlos de alguns animais, a seda obtida através da secreção do Bicho-da-Seda e a lã retirada de ovelhas são exemplos de fibras de origem animal. A confecção dessas fibras está diretamente ligada à criação de animais ou insetos que produzem esse material, o que limita a fabricação em grande escala e esbarra com problemas relacionados ao uso indevido destes seres vivos. Em questões sustentáveis, por serem materiais de origem natural são biodegradáveis, contudo, a aplicação de certos tratamentos químicos a essas fibras pode inviabilizar esse processo, impactando o meio ambiente de forma negativa. De toda forma são reconhecidas por suas ótimas propriedades mecânicas e são muito utilizadas na indústria têxtil (GUIMARÃES, 2014)

Assim sendo, de acordo com as classificações apresentadas, serão apresentadas as principais fibras utilizadas para produção de cabedais. Iniciando pelo grupo das fibras sintéticas, composta por polímeros, se destacam: PET (Polietileno Tereftalato) e PU (Poliuretano); já para

as fibras naturais, se destacam: lã, camurça, couro, algodão e cetim (LEE; RAHIMIFARD, 2012).

Diferentemente do processo de classificação e propriedades dos polímeros, as fibras naturais não podem ser definidas de acordo com desempenho e comportamento mecânico, uma vez que são originadas de forma natural, suas propriedades mecânicas variam de acordo com a forma de sua retirada, do seu plantio ou de acordo com o ser vivo que a produz; e nesse tipo de ambiente é difícil sua categorização quanto a performance. Entretanto, demais classificações como origem e valores de propriedades mecânicas são bem definidas para esse grupo, mas a exposição destes dados neste trabalho não acrescenta à discussão e objetivo previamente definidos.

Em contrapartida, os polímeros podem ter sua performance classificada, e seguindo os mesmos parâmetros da Tabela 1, a Tabela 3 categoriza os polímeros que são matérias-primas de cabedal.

Tabela 3 - Origem, comportamento e desempenho mecânico dos principais polímeros para cabedais (CANEVAROLO JR., 2006; DROBNY, 2014)

Material	Origem	Comportamento Mecânico	Desempenho Mecânico
Poliuretano – PU	Sintética	Termofixo, Elastômero ou Fibra	-
PET (Polietileno Tereftalato)	Sintética	Termoplástico	Termoplásticos de Engenharia

PU e PET têm suas peculiaridades quando tratados como insumos de cabedais, o PU tem grande importância por ser matéria-prima de couro sintético, principal substituto do couro animal e de enorme relevância no mercado; e a importância do PET é devido à sua característica termoplástica. Dados os problemas no uso de fibra animal, o uso couro teve uma grande diminuição, e para ocupar esse espaço o couro sintético, à base de PU, surgiu. Este polímero substituiu o couro com melhorias em termos propriedades de engenharia, através de alta resistência mecânica, durabilidade e leveza, que contribuem para a o conforto e proteção exigidas pelo cabedal. O destaque no PET é sua termoplaticidade, diferentemente da aplicação em solado, a importância dessa propriedade se dá pela capacidade desse polímero de se transformar em fios que dão forma a tecidos de cabedais. Seu desempenho mecânico como um termoplástico de engenharia garante boa resistência mecânica, boa tenacidade, excelente

estabilidade dimensional, baixa absorção de líquidos e leveza, garantindo conforto físico e térmico, exigências básicas para um cabedal (CANEVAROLO JR., 2006; MOSS, 2008).

O cabedal é, basicamente, um tecido, no qual são aplicadas forças de proporções parecidas com aquelas sofridas por uma sola, e é por isso que, diferentemente de um polímero utilizado para solados, propriedades como resistência ao choque, amortecimento e resistência à abrasão não são características de destaque para o cabedal, mas sim espessura, peso, permeabilidade do ar, conforto térmico, resistência à tração e molhabilidade, características que demonstram a diferença da função de cada elemento. (LEE; OBENDORF, 2007; SLATER, 1996)

Seguindo a etapa de classificações, a Tabela 4 apresenta as características identificadas nas fibras quando utilizadas como matéria-prima de cabedal. Observa-se a uma maior relevância de: baixa absorção de líquidos, leveza, isolamento térmico e permeabilidade do ar nestes materiais, propriedades que refletem o conforto térmico e físico desejado na parte superior do pé.

Tabela 4 - Comparativo das propriedades das principais fibras para cabedais (CANDIDO, 2021; HOSSEINI RAVANDI; VALIZADEH, 2011; NIKE GRIND, 2021; PRECISION URETHANE & MACHINE, 2022)

Fibra	Características como cabedal
PU	Leveza; Resistência à abrasão; Baixa absorção de líquidos; Resistente à extremas temperaturas.
PET	Leveza; Baixa absorção de líquidos; Resistência à tração;
Lã	Isolamento térmico; Leveza; Permeabilidade do ar; Alta reciclabilidade.
Camurça	Durabilidade; Baixa absorção de líquido; Isolamento térmico.
Couro	Resistência à tração; Resistência ao mofo;

	Resistência ao fogo; Permeabilidade do ar.
Algodão	Permeabilidade do ar; Alta propagação de umidade; Absorção de umidade; Resistente à altas temperaturas; Resistente à abrasão.
Cetim	Resistência à tração; Leveza.

Todas as principais matérias-primas foram descritas e analisadas e para compilar todas as informações apresentadas, a Figura 9 apresenta os principais insumos na produção de solados e cabedais.

As informações básicas do que define um calçado, seja por uma visão econômica, seja por uma visão de uma peça de propriedades mecânicas, foram abordadas, os próximo tópico apresenta as principais tecnologias referentes à matérias-primas ecológicas, classificando-as quanto a origem e destino dentro do mercado calçadista.



Figura 9 - Principais matérias-primas de calçados, agrupadas em cabedais e solados. Fonte: (LEE; RAHIMIFARD, 2012)

2.5 Tecnologias e Insumos Sustentáveis Aplicados ao Setor

Em 2020, o Brasil produziu 904 milhões de pares de calçados, o que contribuiu com aproximadamente 133 mil toneladas de resíduos que em sua maioria não são incorporados ao

meio ambiente, sua produção é feita a partir de um complexo de componentes químicos como plásticos, colas e tecidos, todos são materiais que agredem o meio ambiente de alguma forma. A quantidade de calçados fabricados não deve diminuir, dessa forma apenas uma produção sustentável pode amenizar os efeitos desse mercado no meio ambiente (ABICALÇADOS, 2020; VAN RENSBURG; NKOMO; MKHIZE, 2020).

Os números relacionados à impactos ambientais negativos são alarmantes. A Tabela 5 apresenta o quantitativo dos impactos gerados pela indústria calçadista em 2018, baseado nos indicadores de toneladas de CO₂ emitidos, esgotamento de recursos hídricos, demanda cumulativa de energia e qualidade do ecossistema.

Tabela 5 - Valores de impactos ambientais por ciclo de vida de calçados. Fonte: (QUANTIS, 2018)

Categoria de Impacto	Unidade	Total
Poluição Atmosférica	Milhoes de Toneladas Métricas CO ₂ eq	700
Esgotamento de Recursos Hídricos	10 ⁹ m ³	29,5
Demanda Cumulativa de Energia	10 MJ	7.740
Qualidade do Ecossistema	10 ⁹ PDF.m ² .ano (espécies de seres vivos perdidas por m ² , por ano)	477

Baseado nos valores de 2012, o consumo global de calçados é de 2,86 per capita, fazendo um comparativo com os valores apresentados na Tabela 5 com o valor médio de consumo per capita, são produzidos 94 kg of CO₂eq, valor equivalente a uma viagem de 2.350 km de carro ou uma viagem de 900 km de avião. Por outro lado, se baseando pelo mesmo número de consumo global, mas relacionando com o esgotamento de recursos hídricos, esse número equivale a 4.000 L de água gasta ou 21 banhos. Valores alarmantes que somados representam de 16% a 32% da poluição total combinada da indústria de artigos de vestimenta. As comparações sugeridas têm a finalidade de trazer à realidade o impacto negativo que a produção de calçados gera ao meio ambiente, números de peso que devem ser controlados. (QUANTIS, 2018)

De qualquer forma, esse setor busca se adaptar às recentes demandas de mudança de metodologias e processos industriais, seja pela criação de sistemas de reciclagem e desperdício zero, ou por meio do aprimoramento e fabricação de materiais sustentáveis, e, com base nessas

ideologias serão apresentadas duas iniciativas de duas grandes empresas do setor, a primeira é uma sistemática de processamento de resíduos que buscam o desperdício zero da empresa como um todo com o *Nike Grind*; e o segundo é uma iniciativa que também almeja a produção zero de resíduo, neste caso através da produção de um calçado que pode ser refeito, o *FUTURECRAFT.LOOP*, projeto da Adidas.

Nike Grind é um projeto que busca a reutilização de materiais de calçados atléticos através de projetos paralelos, buscando um ciclo de produção sem resíduos. Esse projeto separa os principais materiais de calçados de alta performance: Borracha, Poliuretano, EVA, Couro, Tecidos e Termoplásticos, e faz um estudo das melhores aplicações desses materiais e retorna à sociedade em forma de grandes projetos como: quadras poliesportivas públicas, parques recreativos infantis, passarelas, materiais de construção, etc. Dessa forma esses materiais tomam nova forma e permitem a redução de resíduos a serem descartados de forma indiscriminada (NIKE GRIND, 2021).

A Adidas, mantendo o pensamento de produção zero de resíduos, criou um calçado feito para ser refeito. O *FUTURECRAFT.LOOP* é um projeto, ainda em estudo, sobre a produção de um calçado através de um único material, Poliuretano Termoplástico, que depois de usado, é recolhido e reciclado com intuito de se produzir um novo calçado, tudo com adição mínima ou nenhuma de material. O obstáculo encontrado é de manter as propriedades mecânicas do material depois da reutilização (VERBECK; SAHANGA, 2019).

Esses são apenas alguns exemplos, outras empresas já se mostram preocupadas em criar uma indústria calçadista eco-responsável, por outro lado, atrelado a essas medidas, existem outras alternativas que também estão relacionadas à matérias-primas, mas de uma forma mais direta, este é o caso dos biomateriais, insumos produzidos à base de elementos naturais ou materiais sintéticos reciclados.

Os biomateriais são uma alternativa para a diminuição de materiais sintéticos que agredem ao meio ambiente através do descarte ou da própria fabricação, de acordo com as referências encontradas, três grupos de biomateriais se destacam: os biocompósitos, os biopolímeros e os materiais reciclados.

Os biopolímeros são compostos químicos produzidos a partir da ação de seres vivos ou de matérias-primas de fontes renováveis. Estes polímeros são, na maioria das vezes, combinados com polímeros usuais como EVA, TPU, PU, etc., dada a limitação de suas propriedades mecânicas. A exploração dos biopolímeros e suas diversas aplicações ainda é um campo em desenvolvimento, que detém grande potencial para inovações nesse setor. De acordo com a revisão bibliográfica feita, são definidos três grupos de matérias-primas naturais para os

biopolímeros: algas, fungos, bactérias e vegetais de fontes renováveis. Uma breve explicação de fabricação dos biopolímeros de cada grupo se faz necessária, uma vez que são materiais de produção e uso recente no mercado (ARAÚJO et al., 2021; BILAL; IQBAL, 2019).

Quando há uma grande deposição de nutrientes minerais e orgânicos no ambiente aquático, ocorre um desbalanço deste ecossistema e acontece um crescimento exagerado de algas, processo conhecido como eutrofização. Este processo é responsável pela criação de uma barreira de algas na superfície do meio aquático, impedindo a passagem de luz que alimenta as plantas do fundo do oceano, como alternativa de limpeza do meio aquático existe o processo de produção de polímeros à base de algas. E esse método ocorre da seguinte forma: a matéria orgânica absorvida é desidratada, transformada em pó e misturada com outro polímero, para que ao fim vire pellets prontos para serem moldados. Como a maioria dos biopolímeros, um polímero 100% feito por algas não detém de propriedades mecânicas dignas de uma aplicação de engenharia, mas o avanço nos estudos deste material permite que sua proporção e até união a outros biopolímeros seja possível, com intuito de diminuir ou eliminar a presença de materiais sintéticos. No mercado calçadista esse insumo é responsável pela produção de palmilhas e solados. De toda forma, essa tecnologia já é utilizada pelas grandes empresas e um grande exemplo é o Yeezy Foam Runner, calçado produzido pela *Adidas* em colaboração com o artista Ye, apresentado na Figura 10 (INSIDER, 2021; MATERIAL DISTRICT, 2016; SPERLING, 2005; VIVOBAREFOOT, 2020).



Figura 10 - Yeezy Foam Runner, calçado a base de Algas e EVA. Fonte: (PINEAPPLE CO., 2021)

Outro importante insumo natural para os biopolímeros são os fungos, em especial os micélios, sua utilização permite a criação de um material que serve como base para diversas partes de um calçado, e já é visto pelas grandes empresas como material de propriedades significativas para o mercado. A utilização de fungos como matéria-prima tem origem nos poros de micélio, menor porção de um fungo. Durante seu processo de crescimento, suas raízes tomam a forma de uma trama, que quando desenvolvida forma uma camada esponjosa, a partir

desta camada são criados tanto tecidos, como blocos poliméricos, materiais que dão origem a cabedais e solados, respectivamente. Os materiais advindos dos micélios também são utilizados em conjunto com polímeros sintéticos. Para representar a atuação desse material no mercado, a Figura 11 representa os dois principais produtos advindos dos fungos, através de tecido para cabedal, presente no calçado da *Adidas*, e no solado, presente no calçado pioneiro, *Sneature* (ADIDAS, 2021; AHUJA, 2021; STIRWORLD, 2021).



Figura 11 - Adidas Mylo Stan Smith, tênis que utiliza micélio para produção do cabedal (a) e Sneature, tênis que utiliza micélio para produção do seu solado (b). Fonte: (ADIDAS, 2021; AHUJA, 2021)

Mais um importante insumo natural para biopolímeros são as bactérias, especificamente a celulose bacteriana. Esta celulose é definida como um biopolímero 3D nanofibrilar produzido pela fermentação de bactérias do gênero *Komagataeibacter*. Sua estrutura contribui para uma alta resistência mecânica, refletida pelo alto módulo de elasticidade, contudo quando utilizado sem a adição de materiais de reforço, como polímeros sintéticos, este material falha em durabilidade, quando utilizado no dia a dia, como é o caso dos calçados. Entretanto, já é utilizado pela indústria alimentícia, têxtil e biomédica, sendo reconhecidos pela efetividade como vestimenta, praticidade e versatilidade. A sua estrutura em forma de tecido faz com que este material seja um insumo que pode se transformar em cabedal dentro do setor calçadista (FERNANDES et al., 2021; NAM; LEE, 2019).

Fechando o grupo dos biopolímeros, estão aqueles com origem vegetal, como cana-de-açúcar, milho, óleo de dendê, etc. O processo de fabricação desse polímeros tem relação com os óleos que advém desses vegetais, também utilizados como fontes renováveis, esses óleos são compostos químicos a base de triglicerídeos, um tipo de gordura que é produto de uma esterificação de um glicerol com três ácidos graxos. A estrutura desse componente permite que ele realize várias ligações químicas, e dada essa característica, o composto passa por um processo de polimerização ou copolimerização e tem como resultado a criação de um polímero.

Como a maioria dos materiais de origem natural, também é conhecido por propriedades mecânicas menos eficientes que dos polímeros sintéticos, mas dada a recência da descoberta e estudo desses materiais, ainda há espaço para melhorias. Dentro do setor calçadista, esses materiais dão origem a palmilhas, solados e cabedais. Para finalizar com um exemplo, a Figura 12 apresenta o Corre Eco 1, tênis da marca nacional *Olympikus* que faz uso do EVA verde, biopolímero à base de etanol da cana-de-açúcar. (BRASKEM, 2021; LLIGADAS et al., 2013; MOGG, 2018; RASHMI et al., 2013; VIVOBAREFOOT, 2020; WADDOUPS, 2021).



Figura 12 - Corre Eco 1, calçado a base de EVA Verde com origem no Etanol da Cana-de-Açúcar. Fonte: (OLYMPIKUS, 2021)

Óleos vegetais são matérias-primas que abastecem não apenas ao mercado calçadista, mas também a indústria alimentícia, de energia renovável, de combustíveis, entre outras. E isso é reflexo do avanço de tecnologias que permeiam essa substância, a Figura 14 mostra o *market size* referente aos óleos vegetais, e é percebido um aumento do seu tamanho ao longo do tempo, com taxa de crescimento anual composta de 12,6 % no período de 2021 a 2028. O espaço e possibilidades de crescimento dos óleos materiais, como bem material, reforçam seu potencial no mercado calçadista. Dando força ao argumento, a Figura 13 apresenta a proporção de tipos de biopolímeros encontrados em literatura, demonstrando que os biopolímeros vegetais tem grande peso neste mercado e unidos à alta dos óleos vegetais se tornam um insumo muito importante para liderar a entrada de materiais sustentáveis no mercado calçadista (GVR, 2020b; POLARIS, 2021; SHANMUGAM et al., 2020).

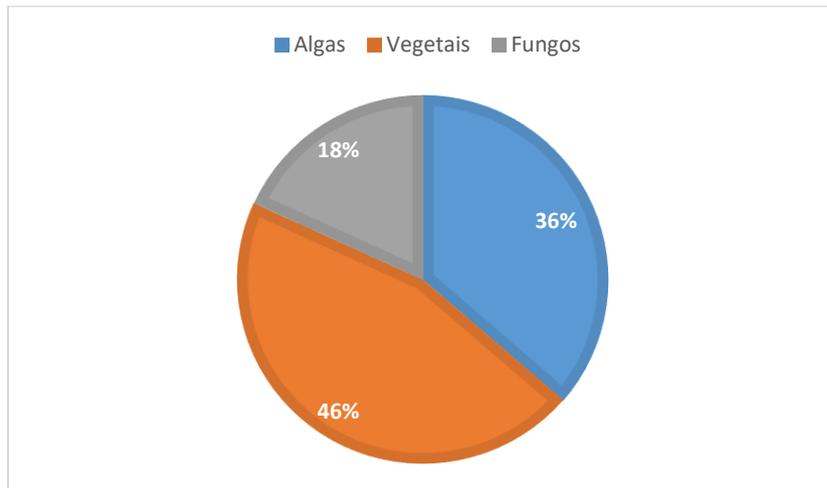


Figura 13 - Proporção de tipos de biopolímeros encontrados em pesquisa

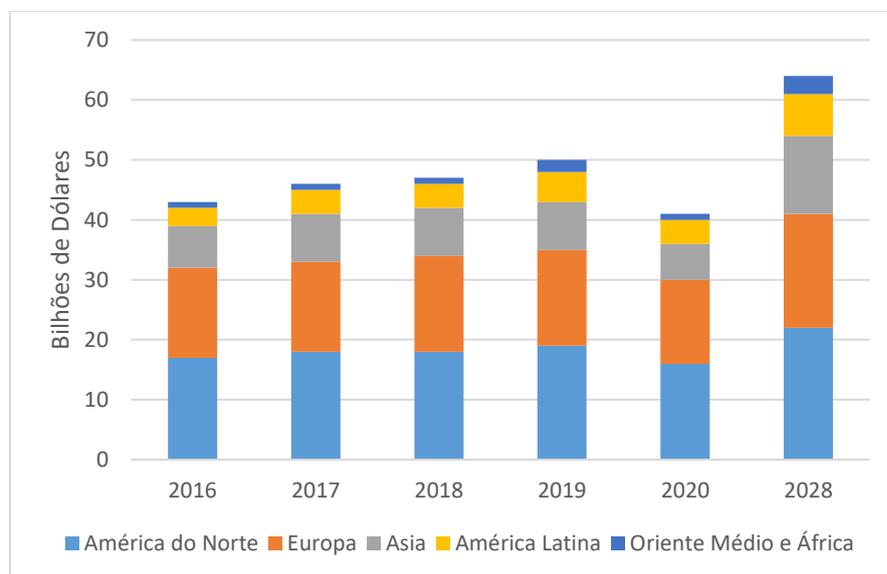


Figura 14 - Market Size de óleos vegetais por região

O último dos três principais biomateriais apresentados é o polímero reciclado. Se uma das medidas para produção sustentável é a utilização de materiais naturais que não impactam o meio ambiente, outra importante medida é o fim do descarte indevido e desperdício de materiais sintéticos já utilizados, problema que encontra uma solução na reciclagem, alternativa já consolidada e difundida no setor calçadista. São muitas as formas de reciclagem presentes no setor, mas duas serão destacadas: a reciclagem de garrafas PET e a utilização de CO₂ para produção de EVA.

O Politereftalato de etileno (PET) é um dos plásticos mais consumidos mundialmente e também é um dos mais reciclados, com forte participação no setor calçadista através da

produção de fibras. Seu processo de reciclagem é simples, começa com a coleta desse material, transformação do todo em pequenos pedaços, lavagem, separação de acordo com a densidade, secagem e conversão dos pequenos pedaços em porções granulares, através da extrusão, tendo como resultado pequenos pellets, que servem como o primeiro passo para a moldagem. Dentro do setor calçadista esses pellets dão forma a pequenos fios, fibras de poliéster, que são tecidas para formar uma trama que toma a forma do cabedal de alguns calçados. Em relação a suas propriedades mecânicas, o PET reciclado (r-PET) é bem mais frágil que o PET virgem (v-PET), com queda de até 40% em valores de resistência à tração, valores que impactam na qualidade do material. Contudo o r-PET é um material muito difundido e utilizado no mercado, exercendo seu papel com propriedade (INSIDER, 2019; SARIOĞLU; KAYNAK, 2018).

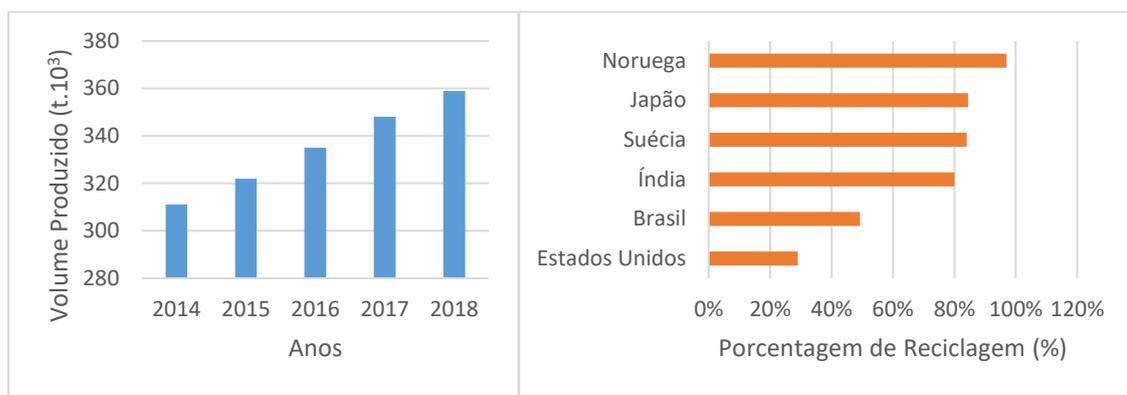


Figura 15 - (a) Volume de produção de plástico mundial de 2014 a 2018. (b) Proporção de garrafas PET recicladas, no ano de 2018, em diferentes países. Fonte : (SHANMUGAM et al., 2020)

A Figura 15 contribui para o peso e importância da reciclagem PET no cenário mundial, é observado um crescente aumento na produção de plásticos a nível mundial, o que representa perigo do ponto de vista de sustentabilidade. Entretanto, países do mundo todo se movimentam para criar medidas de reciclagem, o que contribui para o equilíbrio ecológico. O que reforça a relevância da utilização desse material pelo mercado calçadista.

Reciclagem significa o reuso inteligente de materiais descartados e de acordo com essa definição e o reuso de materiais comuns não é normal que essa relação seja feita com algo diferente de garrafas PET, caixas de papelão, polímeros, etc; contudo, a evolução tecnológica chegou a tanto que é possível que se reutilizem gases como o CO² emitido pelas chaminés das indústrias e se transformando em uma espécie de EVA reciclado (r-EVA) que dá origem a solados. Essa inovação é uma colaboração das empresas *Lanzatech*, *Borealis* e *On*, a primeira é a criadora do processo químico de transformação de CO², a segunda, empresa química responsável pela polimerização e a terceira uma empresa de calçados. Todo processo funciona

desta forma: O CO₂ é capturado antes de atingir a atmosfera, esse gás é fermentado através do uso de bactérias que produzem como resultado etanol líquido, que é desidratado e transformado em gás etileno, polimerizado para produção de pellets de EVA, que, por fim, são utilizados para produção de solados. Essa tecnologia é muito recente e não obteve análises públicas sobre propriedades mecânicas, de qualquer forma esses calçados já são fabricados e bem recebidos pelo consumidor, com único problema sendo o preço que ainda é alto, mas o processo é uma interessante alternativa que pode impactar o mercado e o mundo de várias formas (BOREALIS, 2021; LANZATECH, 2022; ON, 2022).

Assim fecha o capítulo de revisão bibliográfica, em seguida será apresentada a metodologia de revisão de literatura sistemática em que se baseou a produção deste projeto.

3 METODOLOGIA

Este trabalho consiste em um estudo de diversos trabalhos que representam a situação atual da sustentabilidade aplicada ao setor calçadista, com foco em tênis casuais e de alta performance, a aquisição dessa informação foi baseada na metodologia de revisão literária sistemática adotada por MAJUMDER; DYKE, 2015. Este tipo de revisão é um processo rigoroso de seleção de trabalhos, que respondem com clareza aos problemas estipulados, através da identificação, avaliação, seleção e síntese de informações que buscam reproduzir dados que correspondem à situação discutida.

Existem 3 tipos de revisões sistemáticas: qualitativa, quantitativa e meta-análise. O estudo qualitativo seleciona e sintetiza os resultados de estudos relevantes sem parâmetros estatísticos; o estudo quantitativo utiliza de métodos estatísticos para combinar o resultado de dois ou mais estudos; e por fim, a meta-análise utiliza de métodos estatísticos para integrar estimativas de resultados de estudos independentes e parecidos, para então sintetizá-los. O presente trabalho faz uso da revisão sistemática qualitativa.

Definida a metodologia de análise de dados, deve-se seguir os passos que contemplam uma pesquisa eficiente: Definir o cerne da pesquisa; definir critérios de inclusão e exclusão de trabalhos; encontrar e selecionar os trabalhos; avaliar a qualidade; extrair os dados relevantes; apresentar e interpretar os resultados.

Respondendo às etapas básicas apresentadas, este projeto se concentrou na captação de referências literárias que contemplassem, direta ou indiretamente, tecnologias do setor calçadista referentes à matérias-primas ecológicas; foram incluídos artigos, relatórios, pesquisas e reportagens de até 8 anos atrás com referência à pesquisas que ocorreram dentro do âmbito calçadista ou pesquisas que tratassem da ciência dos materiais que podem ser utilizados como matéria-prima dentro do setor, entretanto não houve limite de data para referências que oferecessem base teórica às pesquisas. Ao total, foram selecionadas 52 referências que foram separadas em: título, autor, ano de publicação, ideia central, matérias-primas abordadas; parte do calçado a que é destinada (solado ou cabedal), metodologia de pesquisa (artigos, relatórios, pesquisas ou reportagens) e palavras-chave. As ferramentas utilizadas para compilar esses dados foram o *Microsoft Excel* e o *Mendeley Reference Manager*. A planilha de informações básicas produzidas em excel está presente no APÊNDICE A.

A extração de dados relevantes, apresentação e interpretação dos resultados são produzidos dentro dos tópicos de Revisão Bibliográfica e Resultados e Discussão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a metodologia abordada foram selecionadas 52 referências que correspondem à população de estudos que resumem a sustentabilidade aplicada ao setor calçadista, e dentre todas as pesquisas analisadas, certos tópicos se destacam: estudo temporal da inserção de insumos naturais; a relevância do mercado calçadista sustentável em participação econômica; análise dos principais biomateriais e suas aplicações e impactos ambientais

4.1 Trajetória dos insumos naturais no mercado calçadista

Assim como já abordado anteriormente, a matéria-prima utilizada por um produto é o reflexo das demandas de mercado e do nível tecnológico de um dado período histórico, e é a partir dessa metodologia que essa análise se inicia. As Figura 16 e Figura 17 fazem um compilado histórico dos principais insumos de diferentes períodos, iniciando na década de 90 e finalizando atualmente. Este estudo é separado entre solados e cabedais, respectivamente, separando todo esse período em décadas.

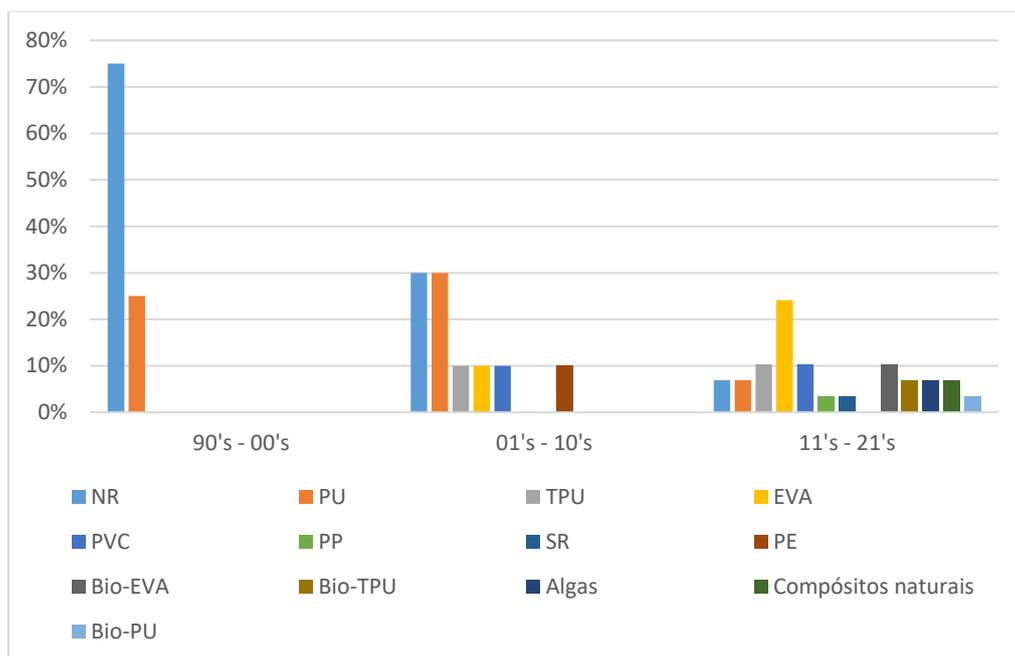


Figura 16 - Matérias-primas de solados dos anos de 1990 a 2021. NR (Borracha Natural), PU (Poliuretano), TPU (Poliuretano Termoplástico), EVA (Acetato-vinilo de Etileno), PVC (Policloreto de Vinila), PP (Polipropileno), SR (Borracha Sintética), PE (Polietileno).

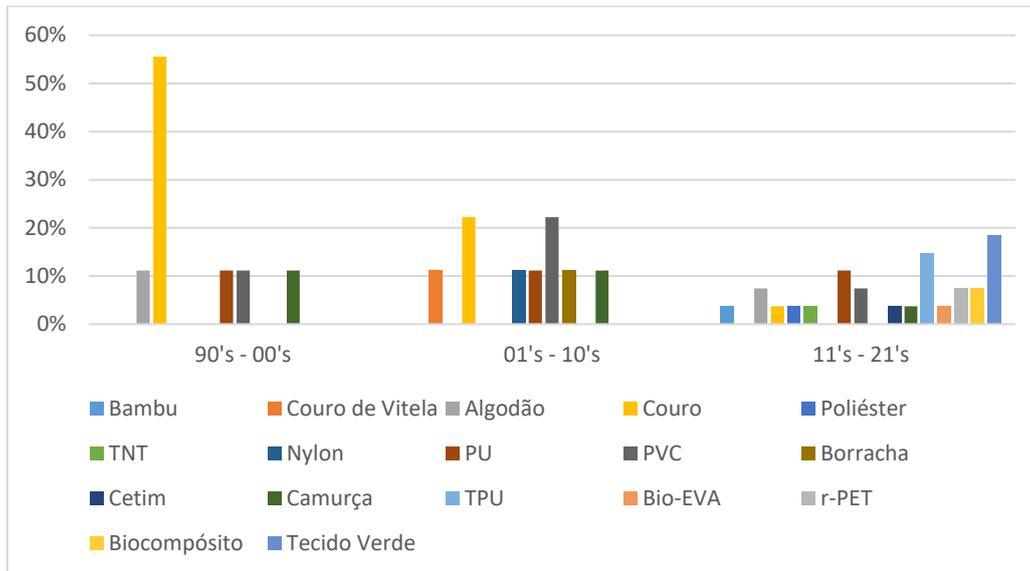


Figura 17 - Matérias-primas de cabedais dos anos de 1990 a 2021. TNT (Tecido Não-Tecido), PU (Poliuretano), PVC (Policloreto de Vinila), TPU (Poliuretano Termoplástico), EVA (Acetato-vinilo de Etileno), r-PET (Politereftalato de Etileno Reciclado).

Dois pontos importantes podem ser observados pelos gráficos, primeiro, a evolução tecnológica, que acompanha a progressão do tempo, deu base para o desenvolvimento e aumento da variedade de matérias-primas capazes de atender às demandas do mercado; e segundo, pode-se observar através dos insumos utilizados, que cada década possui um objetivo de mercado previamente estipulado.

Fazendo, inicialmente, uma análise quantitativa, ao longo das décadas estudadas, percebe-se que, para solados, houve um aumento de 6,5 vezes mais variedade de materiais ao dispor para o setor, e de todos apresentados 92% são polímeros. A presença de biomateriais só é observada na década de 2011 a 2021, e dentre esses insumos, 80% são biopolímeros, com os demais 20% representados por compósitos naturais.

Repetindo a mesma análise para os cabedais, a análise quantitativa de matérias-primas à disposição no mercado, ao longo das décadas abordadas, mostra que houve um aumento de 2,8 vezes mais variedade de materiais à disposição para o setor. E de forma contrária aos solados, a análise de dispersão de insumos nos cabedais é muito mais rica e esclarecedora, nas primeiras décadas, fibras naturais como couro e algodão compunham 90% dos insumos utilizados, e na última década observada 36% dos insumos são fibras sintéticas (polímeros), 28% de fibras naturais convencionais (couro, algodão, cetim, etc) e 36% são fibras de alternativa sustentável (couro verde, biocompósito, PET reciclado e biopolímero).

Uma simples análise de insumos conseguiu representar de forma plena como estavam definidos os objetivos desse setor em cada época. A primeira década analisada era o momento

de consolidação do produto no mercado, o que impossibilitava a abertura para qualquer tipo de inovação; já na segunda década, se iniciou o desenvolvimento tecnológico desses materiais, voltado para melhoria de propriedades de engenharia, havendo liberdade para criação o que resultou no aumento de polímeros sintéticos; e, ao fim, já na década mais recente, existe grande participação de matérias-primas naturais e sustentáveis, o que corrobora com a ideia de que este mercado começa a se importar com essa temática.

Analisando o montante de materiais utilizados ao longo das décadas, é claro que o principal material desse setor, como um todo, é o polímero, uma vez que a utilização desse elemento, como matéria-prima, aparece em maioria tanto em solados quanto em cabedais, aparecendo em 56% do total de matérias-primas utilizadas.

Dessa forma, percebe-se que a mentalidade sustentável é um tema muito recente neste mercado e, apesar de toda tecnologia e variedade de materiais já existentes, a consolidação de processos sustentáveis nessa indústria ainda tem muita oportunidade para melhorar. Dito isso, é muito importante entender como está ocorrendo a evolução da quantidade de biomateriais que aparecem ao longo do tempo, com essa temática a Figura 18 apresenta a quantidade de pesquisas que se relacionam com biopolímeros, biocompósitos e reciclados de 2015 a 2021.

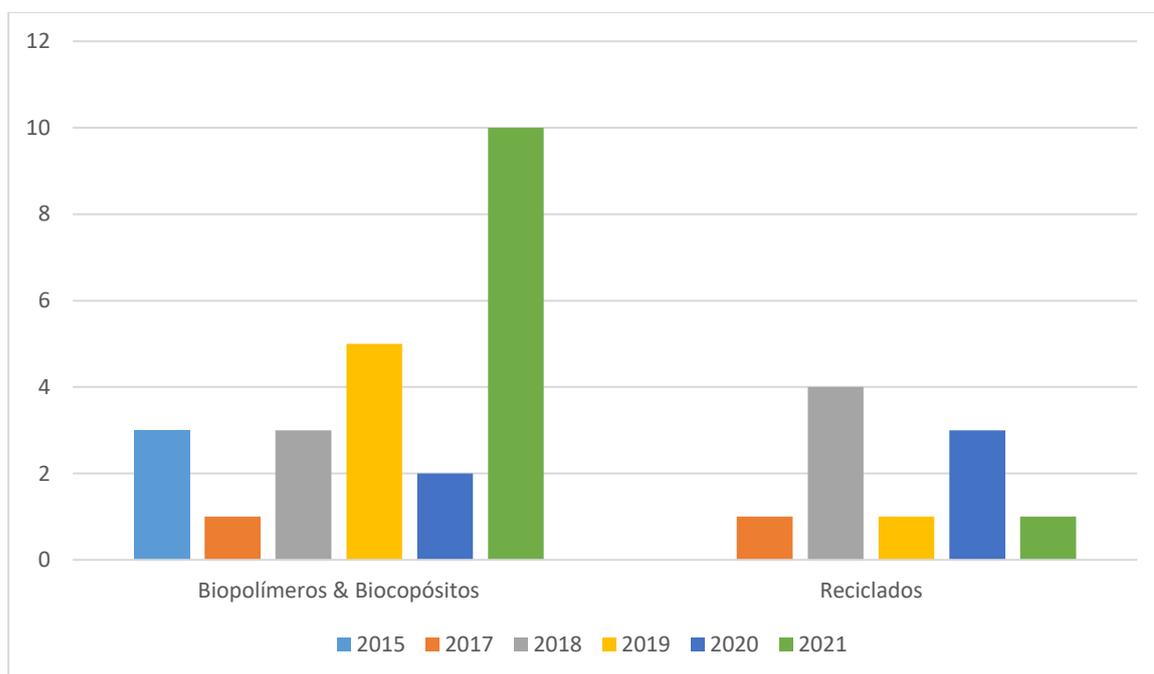


Figura 18 - Quantidade de estudos sobre materiais mais sustentáveis no período de 2015 a 2021

Os dados da Figura 18 representam a quantidade de diferentes estudos encontrados no conjunto de pesquisas selecionadas. E de acordo com os dados apresentados, duas situações se destacam, a crescente quantidade de estudos relacionados a biopolímeros e biocompósitos e a

diminuição daqueles relacionados aos reciclados. Assim como observado nas Figura 16 e Figura 17, o momento do mercado é de desenvolvimento sustentável e novas alternativas sempre acompanham o movimento do mercado, a forma com que essa lacuna ecológica era coberta sempre foi relacionada a utilização de reciclados e os impactos que esta medida cobre não são mais o bastante frente a todo impacto ambiental causado por atividades industriais, dessa forma novas tecnologias representam soluções para uma diversidade maior de problemas; o que já explica a queda de novas tecnologias de reciclagem. Contudo, esses dados não refletem a quantidade de medidas em ação atualmente, a reciclagem é uma alternativa consolidada, quando o assunto são soluções industriais ambientais.

Além disso, independente do comportamento apresentado por cada material, essa é mais uma comprovação da importância recente de pesquisas e projetos relacionados a temas ambientais, dado que, no grupo de estudos selecionados, não foi encontrado nenhum trabalho referente a insumos naturais calçadistas com data anterior a 2015.

Ainda é importante que se tenha uma noção da participação do mercado calçadista para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis. E esta análise será feita por meio de dois pontos, através do estudo da participação, dentro do mercado calçadista, de alternativas ecológicas, quanto de recurso é movimentado para esse tema; e também será abordada a origem das tecnologias já existentes para produção de matérias-primas sustentáveis.

De modo geral, alternativas sustentáveis já são medidas utilizadas pelas grandes empresas, dada a nova mentalidade industrial quanto à responsabilidade ética referente a impactos ambientais, no mercado de roupas e calçados. Este ideal lidera o crescimento de tecnologias voltadas para processos de produção e insumos sustentáveis, entretanto, as medidas direcionadas ao temas em questão ainda movimentam uma parte pequena do mercado, dos \$384,2 bilhões de dólares movimentados por esse mercado em 2020, apenas \$7,6 bilhões de dólares do montante total foi de movimentações relacionadas a medidas sustentáveis, logo o tamanho do mercado calçadista sustentável, atualmente, é de apenas 2% do total deste setor, parcela muito pequena. O ponto focal de origem de alternativas sustentáveis parte das maiores empresas do ramo, estas que movimentaram em 2020 \$48,8 bilhões de dólares, 12% de todo mercado, logo o pouco de desenvolvimento tecnológico sustentável está concentrado em uma pequena parcela de todas as empresas do mercado. Contudo, a preocupação e definição de processos de produção sustentáveis tiveram seu início na década de 2010, período muito recente, o que explica o tamanho e peso de alternativas ecológicas no mercado calçadista (GVR, 2020a; RICHTER, 2021; RIZZO, 2021).

Outro ponto importante a ser abordado é sobre a origem das tecnologias dos produtos já presentes no mercado. A Figura 19 aponta a proporção de alternativas que partiram de tecnologias ecológicas presentes dentro e fora das empresas calçadistas

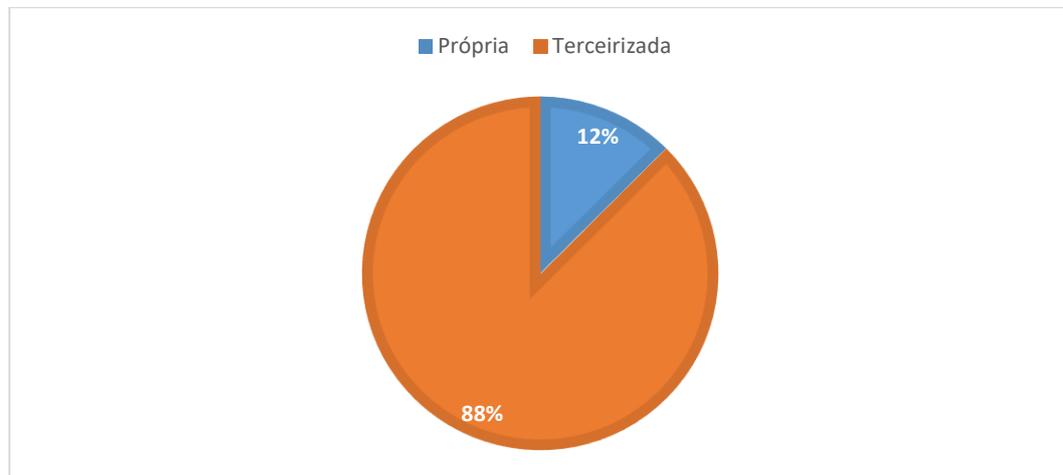


Figura 19 - Parcelas de calçados com tecnologias sustentáveis próprias e terceiras

O gráfico mostrou que 88% dos produtos encontrados nesta pesquisa não são vendidos com tecnologias da própria empresa, logo estes calçados são feitos por meio de colaboração com empresas dedicadas à produção de alternativas ecológicas. Por um lado, é interessante observar o auxílio que as grandes empresas dão ao desenvolvimento de instituições cunho ecológico, mas por outro lado, a falta de presença de processos de obtenção de matéria-prima natural dentro da cadeia de produção das empresas retarda inserção destes no mercado, dado que o processo logístico incluiu a necessidade de um terceiro, que muitas vezes não tem a capacidade de produção em massa das grandes empresas.

Neste primeiro tópico foi feita uma análise de todo cenário que permeia os insumos ecológicos cobrindo assuntos como: estudo de crescimento e variedade de matérias-primas do setor ao longo do tempo, observação da entrada de insumos naturais no mercado e sua evolução no tempo e, por fim, estudo do mercado calçadista sustentável sob temas de economia. Dito isso, o próximo tópico trata especificamente das matérias-primas, trazendo análises de proporção de cada tipo de material presente em pesquisa, propriedades de engenharia, comparação de índices de impacto natural e, por fim, um estudo de performance do mercado brasileiro quanto ao uso de insumos naturais.

4.2 Inovações Sustentáveis para Partes Específicas do Tênis

As informações captadas neste trabalho são capazes de definir os principais biomateriais utilizados atualmente, estes que podem ser separados em 3 grandes grupos: biopolímeros, biocompósitos e reciclados. De acordo com a metodologia aplicada, uma análise na frequência de aparecimento de uma dada tecnologia, reflete o peso que uma dada alternativa tem, quando comparada com o todo. Entretanto, cada matéria-prima tem relação com a funcionalidade desejada pelo seu elemento final, tendo isso em vista é necessário que haja uma classificação separada para solados e cabedais, uma vez que executam tarefas diferentes. Tendo isso em vista, as Figura 20 e Figura 21, apontam a proporção da utilização dos biomateriais em sua respectiva função, solado ou cabedal.



Figura 20 - Insumos sustentáveis aplicados a Solados

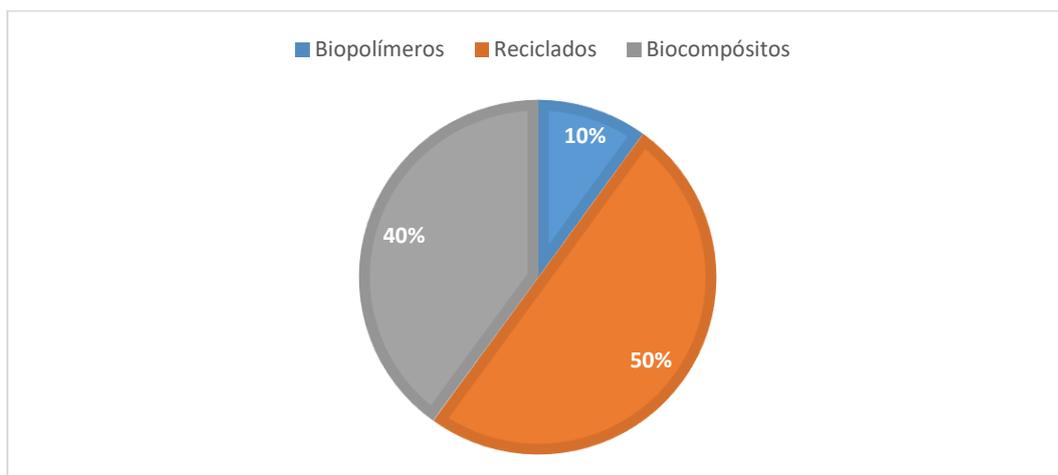


Figura 21 - Insumos sustentáveis aplicados a Cabedais

Primeiramente, é importante salientar que dentre todas as pesquisas 52% dizem respeito a solados e 48% a cabedais, de modo que não existe uma evolução unilateral dentro desse mercado, uma vez que ambos apresentam quantidades semelhantes de trabalhos especializados. Entretanto, existe uma grande diferença ao se falar em tecnologias mais utilizadas em cada elemento, os dados apresentados apontam grande superioridade dos biopolímeros em solados, e maioria de biomateriais reciclados, em cabedais. Para melhor compreensão desta diferença deve-se retomar questões como a funcionalidade e formato de cada elemento e compará-las com características presentes nos biomateriais. Para auxiliar a discussão, a Tabela 6 apresenta estas características e a composição dos biomateriais utilizados.

Tabela 6 - Propriedades referentes à materiais sustentáveis. Fonte: (DUPONT TATE & LYLE, 2018; FERNANDES et al., 2019, 2021; KARTIK et al., 2021; MATERIAL DISTRICT, 2016; NIEDL; HACKL, 2020)

Biomaterial	% composição natural	Características como insumo calçadista
Biopolímeros	Composto parcialmente natural (10% - 85% bio)	Leveza Flexibilidade Resistência à Tração Durabilidade Resistência à Abrasão
Biocompósitos	Composto parcialmente natural (50% - 100% bio)	Resistência à Tração Isolamento Térmico Permeabilidade do ar Baixa absorção de líquidos
Reciclados	Composto parcialmente natural (50% - 100% Reciclado)	Leveza Baixa absorção de líquidos Resistência à tração

Fatores como funcionalidade e formato podem ser facilmente explicados ao se simplificar o sistema para para sua forma mais básica possível e nele aplicar as situações problema. A partir dessa metodologia, um solado pode ser representado por um simples bloco polimérico cuja finalidade é proporcionar tração, resistir e absorver impacto, tais funções exigem polímeros de propriedades mecânicas resistentes, o que é representado por polímeros termoplásticos especiais como TPU e EVA. Sabendo que a efetividade desses materiais é alta, mas a

necessidade de introduzir processos sustentáveis é uma demanda forte, os biopolímeros se tornam os principais biomateriais utilizados para fabricação de solados, isso explica o porquê de 100% do biopolímeros utilizados são apenas parcialmente compostos de materiais naturais, a tecnologia desses materiais ainda é recente e não garante propriedades tais quais necessárias fazendo com que seja necessária sua composição com polímeros sintéticos.

De forma semelhante, os cabedais podem ser reduzidos a pequenos fios que se entrelaçam formando um tecido que deve cobrir o pé; resistência à tração, permeabilidade do ar e baixa absorção de líquidos são suas principais propriedades. A questão quanto aos cabedais é a sua menor forma ser a de fio que detém de resistentes propriedades mecânicas, dessa forma, a termoplasticidade é tratada com muita importância dentro de cabedais, pois a capacidade de se transformar fisicamente é qualidade primordial, o que explica grande presença de r-PET. Sua utilização garante propriedades mecânicas necessárias e se adequa ao novo estilo sustentável de mercado. A variação da proporção de material reciclado por produto se adapta às necessidades da aplicação, dado que quanto maior a porcentagem de reciclados, menor sua resistência à tração.

Com o entendimento das razões por trás da grande utilização de biopolímeros e reciclados como principais biomateriais desse setor, percebe-se que ainda é necessária a adição de sintéticos para garantir efetividade do material natural, contudo sua utilização ainda é de extrema importância e a confirmação deste fato é atestado pela análise de ganhos ambientais que acompanham sua aplicação. A melhor forma de averiguar os níveis cuidados ambientais de um produto é através da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), um estudo que categoriza e quantifica os diferentes tipos de impacto ambiental gerados por um dado artigo, demanda cumulativa de energia, eutrofização, consumo água e mudança climática são algumas das categorias do ACV (IBICT; MCTIC, 2022).

Se baseando pelos valores de mudança climática, kg de CO₂ produzido ou retirado da atmosfera por kg de material produzido, e esgotamento de recursos, m³ de água utilizada por kg de material produzido, a Figura 22 faz o comparativo entre TPU, biopolímeros à base de algas, de vegetais e r-PET, nesta análise o TPU funciona como polímero sintético genérico, com intuito de comparar valores impacto ambiental com os biopolímeros. É importante salientar que muitos dos materiais encontrados neste projeto não realizaram o ACV, dado que sua criação e produção começaram recentemente.

Primeiro ponto a ser observado é a mudança climática gerada por cada material, valores positivos representam kg de CO₂ emitido na atmosfera e valores negativos representam quilos retirados ou prevenidos de serem emitidos na atmosfera. Fazendo uma comparação com o TPU

sintético, todos os biopolímeros e reciclados observados contribuem para a diminuição de gás carbônico, ao substituir o polímero sintético, uma vez que todos emitem uma menor quantidade que o material usual, os valores desta redução, em comparação ao valor do TPU sintético, variam de -2,19 a -7,79 kg CO₂.kg⁻¹. Já em relação a utilização de água no ciclo de vida desse material, os valores são variados, em comparação com a água utilizada pelo TPU, biopolímeros à base de algas e o r-PET contribuem para um melhor balanço do ecossistema aquático, entretanto os BPs vegetais contribuem com um gasto maior que o TPU sintético. Biopolímeros de algas e r-PETs, são materiais que atingem diretamente o meio aquático, logo sua produção limpa esse meio imediatamente; de forma oposta os BPs vegetais detêm de fontes que provém da agricultura e sua produção consome uma grande quantidade de água, em contrapartida, sua produção gera mais alternativas sustentáveis, como a geração de energia renovável, o que não tira o peso do dano causado, mas o redistribui na balança do desenvolvimento sustentável. Em comparação ao valor do TPU sintético, o peso do uso da água varia de +2,49 E-02 a -9,51 E-02 m³.

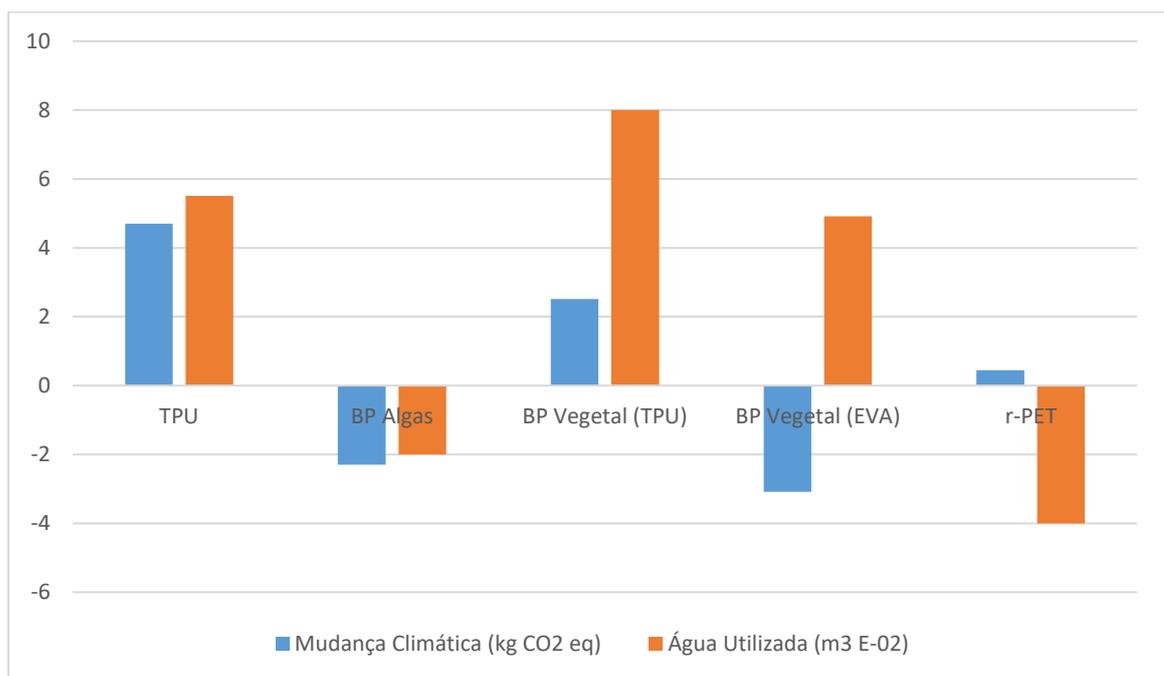


Figura 22 - Quantificação de Mudança Climática e Água Utilizada na produção de Biomateriais. Fontes: (BRASKEM, 2021; DUPONT TATE & LYLE, 2018; FEHRINGER, 2017; INSIDER, 2019)

De qualquer forma, esta foi uma comparação de apenas 2 tópicos do ACV, demais valores como demanda cumulativa de energia, uso agrícola da terra, toxicidade humana, etc, nos outros biopolímeros também apontam melhorias em comparação à insumos sintéticos, mas não há

informação o bastante para gerar uma análise. Contudo, os pontos abordados corroboram para a argumentação das melhorias que a adição destes materiais traz ao meio ambiente.

Contribuindo para discussão, é importante que essa análise seja direcionada para o mercado brasileiro. Importantes dados como posições altas em volume de exportação mundial e enorme quantidade de polímeros utilizados na cadeia de produção calçadista são fatores que transformam o Brasil em um candidato prioritário na adoção de medidas sustentáveis, dado que dos três tipos de biomateriais encontrados, a maioria é encontrada em grandes proporções em solo brasileiro. Os números ainda são modestos, mas a Figura 23, aponta as medidas ecológicas já encontradas no mercado nacional.

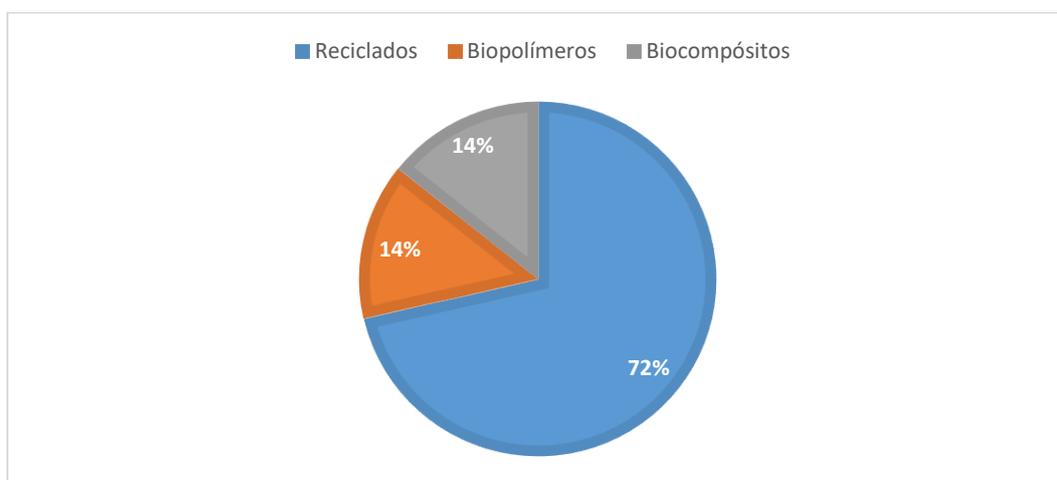


Figura 23 - Distribuição de Insumos Sustentáveis no Brasil. Fonte: (ABICALÇADOS, 2021a)

Os dados apresentados têm por base 7 alternativas sustentáveis apresentadas por 4 grandes empresas nacionais. Com grande maioria, os reciclados são os principais biomateriais presentes no mercado brasileiro. Este resultado corrobora com a mentalidade de transição para processos de produção mais sustentáveis, uma vez que sua utilização ainda mantém insumos sintéticos, mantendo as propriedades mecânicas que definem um material ótimo para a aplicação, mas exercendo uma alternativa que contribui com o cuidado com o meio ambiente. Entretanto, é curioso que os resultados de biopolímeros e biocompósitos estejam em tão menor número, dado que algumas das referências selecionadas foram produzidas por pesquisadores brasileiros, fato que mostra uma certa distância entre essa indústria e a evolução científica nacional.

E assim se dá o término do capítulo de resultados e discussões, a seguir a conclusão aparece para fechar tudo que se foi abordado neste projeto.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentados e discutidos os principais insumos sustentáveis existentes no setor calçadista, direcionados a solados e cabedais; para atestar qualidades e falhas dos biomateriais reunidos foram feitas comparações entre os materiais mais usuais a título de: composição, nível de impacto natural causado e propriedades de engenharia, tudo isso, levando em conta a relevância que os biomateriais possuem dentro do mercado calçadista atualmente.

O estudo deste caso categorizou os materiais sustentáveis em 3 grandes grupos: biopolímeros, biocompósitos e materiais reciclados, e definiu os biopolímeros como a principal alternativa para produção de solados e os reciclados como a principal alternativa para produção de cabedias. De modo geral, os biomateriais são alternativas que solucionam parcialmente a questão ambiental dentro do setor, uma vez que resolvem problemas de impacto ambiental, mas não detém de propriedades mecânicas suficientes para substituir os materiais sintéticos utilizados. E as causas deste cenário estão relacionadas a recência da criação e aplicação desses materiais, da baixa parcela de recursos destinada a esse tema dentro do seu setor, da alta concentração de alternativas ecológicas em uma pequena quantidade de empresas e do alto preço das tecnologias de fabricação dessas matérias-primas.

Assim como exposto, o momento é de transição e início de tomada de decisões de teor sustentável. O mercado calçadista já está se movimentando para melhoria e, com base na análise temporal, a expectativa é de crescimento, todavia as lacunas tecnológicas e logísticas devem ser cobertas para o crescimento desse mercado como potência ecológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABICALÇADOS. Relatório Setorial da Indústria de Calçados - Brasil 2019. p. 1–68, 2019.
- ABICALÇADOS. Relatório setorial indústria de calçados. **2020**, p. 55, 2020.
- ABICALÇADOS. **Sustentabilidade nos pés**. Disponível em: <<https://www.abicalcados.com.br/noticia/sustentabilidade-nos-pes>>. Acesso em: 20 abr. 2022a.
- ABICALÇADOS. ABINFORMA N° 348. fev. 2021b.
- ADIDAS. **COMEÇANDO DO ZERO: COMO A ADIDAS RECRIOU UM ÍCONE USANDO RAÍZES DE COGUMELOS**. Disponível em: <<https://www.adidas.com.br/blog/663481-stan-smith-mylotm-made-using-mushrooms>>. Acesso em: 27 mar. 2022.
- AHUJA, A. **Sneature is a bio-shoe with a mycelium sole and a 3D-knitted canine hair body**. Disponível em: <<https://www.stirworld.com/see-features-sneature-is-a-bio-shoe-with-a-mycelium-sole-and-a-3d-knitted-canine-hair-body>>. Acesso em: 18 jan. 2022.
- ALGER, K. **The History of the Running Shoe | Zappos.com**. Disponível em: <<https://www.zappos.com/c/history-of-the-running-shoe>>. Acesso em: 12 abr. 2022.
- AMPLAST. **CARTILHA TÉCNICA Laminado Sintético de PU**, 2014.
- ARAÚJO, B. A. et al. The application of biodegradable polymers as a sustainable alternative. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e49010918248–e49010918248, 31 jul. 2021.
- BBC. **The surprising history of sneakers | BBC Ideas - YouTube**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=cNjJthwOVoc&t=123s>>. Acesso em: 13 abr. 2022.
- BILAL, M.; IQBAL, H. M. N. Naturally-derived biopolymers: Potential platforms for enzyme immobilization. 2019.
- BLUSOL. **Inserts in your Footwear - Learn how to use it**. Disponível em: <<https://blusol.com/how-to-use/>>. Acesso em: 22 abr. 2021.
- BOREALIS. **On announces CleanCloud™ - turning carbon emissions into running shoes in cooperation with LanzaTech and Borealis - Borealis**. Disponível em: <<https://www.borealisgroup.com/news/on-announces-cleancloud-turning-carbon-emissions-into-running-shoes-in-cooperation-with-lanzatech-and-borealis>>. Acesso em: 18 jan. 2022.
- BRASKEM. **Braskem I'm Green - Bio EVA**. Disponível em: <<https://www.braskem.com/imgreen/bio-based>>. Acesso em: 23 mar. 2022.
- CANDIDO, R. G. Recycling of textiles and its economic aspects. **Fundamentals of Natural Fibres and Textiles**, p. 599–624, 1 jan. 2021.
- CANEVAROLO JR., S. V. Ciência dos Polímeros - Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. **Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**, 2006.
- CHANDRASEKARAN, C. Plastics Calendering. In: **Handbook of Troubleshooting Plastics Processes: A Practical Guide**. [s.l.: s.n.].
- CHILTON, C. **The History of Sneakers - How the Show Has Evolved Over the Years**. Disponível em: <<https://www.menshealth.com/style/g30690312/history-sneakers-evolution/?slide=1>>. Acesso em: 2 fev. 2022.
- CTCP. **Guia do Empresário por Centro Tecnológico do Calçado de Portugal**. [s.l.: s.n.].
- DE ANDRADE, D. C. et al. CONSTRUÇÃO DE EQUIPAMENTO DE BAIXO CUSTO PARA ENROLAR FILAMENTOS DE IMPRESSORAS 3D. **Quim. Nova**, v. 43, n. 4, p. 480–485, 2020.
- DROBNY, J. G. Recent Developments and Trends. **Handbook of Thermoplastic Elastomers**, p. 341–345, 1 jan. 2014.

DUPONT TATE & LYLE. **Propanediol | Susterra® renewably sourced propanediol**. Disponível em: <<https://duponttateandlyle.com/susterra/>>. Acesso em: 21 abr. 2022.

FEHRINGER, R. **Excellent CO2 balance | PET Recycling Team - A Member of the ALPLA Group**. Disponível em: <<https://petrecyclingteam.com/en/excellent-co2-balance>>. Acesso em: 21 abr. 2022.

FERNANDES, M. et al. Development of novel bacterial cellulose composites for the textile and shoe industry. **Microbial Biotechnology**, v. 12, n. 4, p. 650–661, 1 jul. 2019.

FERNANDES, M. et al. Application of Bacterial Cellulose in the Textile and Shoe Industry: Development of Biocomposites. **Polysaccharides**, v. 2, n. 3, 2021.

GOONETILLEKE, R. S. **The science of footwear**. [s.l.: s.n.].

GUIMARÃES, B. M. G. Estudo das características físico-químicas de fibras têxteis vegetais de espécies de Malvaceae. p. 167, 2014.

GVR. **Sustainable Footwear Market Size | Industry Report, 2020-2027**. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/sustainable-footwear-market>>. Acesso em: 20 abr. 2022a.

GVR. **U.S. Plant-based Oils Market Size & Share Report, 2020-2027**. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/us-plant-based-oils-market>>. Acesso em: 29 abr. 2022b.

HARPER, C. A. **Handbook of Plastic Processes**. [s.l.: s.n.].

HOSSEINI RAVANDI, S. A.; VALIZADEH, M. Properties of fibers and fabrics that contribute to human comfort. **Improving Comfort in Clothing**, p. 61–78, 1 jan. 2011.

HUSNA, Z. N. I.; AZURA, A. R. **Utilization of natural rubber latex as raw materials for rubber shoe outsole**. AIP Conference Proceedings. **Anais...2020**.

IBICT; MCTIC. **O que é Avaliação do Ciclo de Vida | ACV - Ibict**. Disponível em: <<https://acv.ibict.br/acv/o-que-e-o-acv/>>. Acesso em: 21 abr. 2022.

INSIDER. **How Plastic Made With Algae Can Clean Waterways | World Wide Waste - YouTube**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Hq7kjC3jzyE>>. Acesso em: 27 mar. 2022.

INSIDER, T. **How Adidas Turns Plastic Bottles Into Shoes**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=pJBRqespiOA&ab_channel=TechInsider>.

JUNIOR, C. C. M. F. **Fibras vegetais para compósitos poliméricos**. [s.l.: s.n.].

KARTIK, A. et al. A critical review on production of biopolymers from algae biomass and their applications. **Bioresource Technology**, v. 329, p. 124868, 1 jun. 2021.

LANZATECH. **Welcome to the Post Pollution Future**. Disponível em: <<https://lanzatech.com/>>. Acesso em: 2 abr. 2022.

LEE, M. J.; RAHIMIFARD, S. An air-based automated material recycling system for postconsumer footwear products. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 69, 2012.

LEE, S.; OBENDORF, S. K. Barrier effectiveness and thermal comfort of protective clothing materials. **Journal of the Textile Institute**, v. 98, n. 2, 2007.

LLIGADAS, G. et al. Renewable polymeric materials from vegetable oils: a perspective. **Materials Today**, v. 16, n. 9, p. 337–343, 1 set. 2013.

MAJUMDER, K.; DYKE, G. **A young researcher's guide to a systematic review Editage Insights**. Disponível em: <<https://www.editage.com/insights/a-young-researchers-guide-to-a-systematic-review>>. Acesso em: 23 abr. 2022.

MATERIAL DISTRICT. **Bio-foam made from algal bloom - MaterialDistrict**. Disponível em: <<https://materialdistrict.com/article/bio-foam-algal-bloom/>>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MOGG, T. **Reebok's Newest Sneaker Is Made From Cotton and Corn | Digital Trends**. Disponível em: <<https://www.digitaltrends.com/cool-tech/reeboks-newest-sneaker-made-from-cotton-and-corn/amp/>>. Acesso em: 19 jan. 2022.

MORBY, A. Adidas and Parley for the Oceans unveil swimwear made from ocean plastic. **Dezeen**, 2017.

MORO, N.; AURAS, A. P. **Processo de Faricação CONFORMAÇÃO MECÂNICA II – Extrusão, Trefilação e Conformação de Chapas**. [s.l: s.n.].

MOSS, G. **Synthetic Leather - How It's Made**, 2008. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=TGUZgs2TYTI>>. Acesso em: 15 abr. 2022

MOTOWI, W. **How Shoes are Made: A behind the scenes look at a real sneaker factory**. [s.l.] Wade's Place, 2018.

NAM, C.; LEE, Y. A. Multilayered Cellulosic Material as a Leather Alternative in the Footwear Industry. **Clothing and Textiles Research Journal**, v. 37, n. 1, 2019.

NIEDL, P.; HACKL, A. PET/polyester recycling: Requirements and recycling solutions for reuse in filaments. **Chemical Fibers International**, v. 70, n. 4, 2020.

NIKE. **Nike Zoom Vaporfly Elite Flyprint, - YouTube**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=GtDdelMcQWQ>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

NIKE GRIND. **Nike Grind - Changing The Game from The Ground Up**. Disponível em: <<https://www.nikegrind.com/>>.

OLYMPIKUS. **Tênis Olympikus Corre1 Eco Unissex**. Disponível em: <https://www.olympikus.com.br/43567916_3-941/p>. Acesso em: 16 abr. 2022.

ON. **Transformando emissões de carbono em tênis de corrida - On | Swiss Performance Running Shoes**. Disponível em: <<https://www.on-running.com/pt-br/articles/turning-carbon-emissions-into-running-shoes>>. Acesso em: 2 abr. 2022.

PINEAPPLE CO. **ADIDAS - Yeezy Foam RNNR "Ochre" -NOVO- - Pineapple Co. | 100% Autentico | Itens Exclusivos e Limitados**. Disponível em: <<https://www.shop-pineapple.co/adidas-yeezy-foam-rnnr-ochre-novo->>. Acesso em: 16 abr. 2022.

PIRES, J. S. C. Fibras naturais: características químicas e potenciais aplicações. **Aleph**, 2009.

POLARIS. **Plant-Based Oils Market | 2021-28 | Size, Industry Report**. Disponível em: <<https://www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/plant-based-oils-market>>. Acesso em: 29 abr. 2022.

PRECISION URETHANE & MACHINE, INC. **Polyurethane Advantages**. Disponível em: <<https://www.precisionurethane.com/urethane-advantage.html>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

QUANTIS. **MEASURING FASHION 2018 Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries Study Full report and methodological considerations**. 2018.

RASHMI, B. J. et al. Development of bio-based thermoplastic polyurethanes formulations using corn-derived chain extender for reactive rotational molding. **Express Polymer Letters**, v. 7, n. 10, p. 852–862, 2013.

RIBEIRO JR., A. S. et al. **Moldagem por Injeção**. Disponível em: <<http://www.ferramentalrapido.ufba.br/moldagemporinjecao.htm#:~:text=O processo de moldagem por,a qualidade da peça injetada.>>.

RICHTER, F. • **Chart: Nike Still on Top of the Sneaker World | Statista**. Disponível em: <<https://www.statista.com/chart/13470/athletic-footwear-sales/>>. Acesso em: 22 abr. 2022.

RIZZO, N. **40+ Footwear industry statistics 2021 [Research Review] | RunRepeat**. Disponível em: <<https://runrepeat.com/footwear-industry-statistics>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

SARIOĞLU, E.; KAYNAK, H. K. PET Bottle Recycling for Sustainable Textiles. In: **Polyester - Production, Characterization and Innovative Applications**. [s.l: s.n.].

SAUNDERS, E. **Sneaker History – The Most Important Tech Over The Years**. Disponível em: <<https://www.fortressofsolitude.co.za/sneaker-history-important-tech/>>. Acesso em: 13 abr. 2022.

SHANMUGAM, V. et al. Polymer Recycling in Additive Manufacturing: an Opportunity for the Circular Economy. **Materials Circular Economy**, v. 2, n. 1, dez. 2020.

SHOES AND FEET. **From Sandshoes to Tennis Shoes : A brief history – Shoes and Feet**. Disponível em: <<https://theshoeman647325124.wordpress.com/2019/03/29/from-sandshoes-to-tennis-shoes-a-brief-history/>>. Acesso em: 13 fev. 2022.

SINBI; SENAI. **Conheça as Partes dos Calçados**. [s.l: s.n.].

SINDIFRANCA; IEMI. **Estudo do Setor Coureiro-Calçadista de Franca e Região**. [s.l: s.n.].

SLATER, K. Comfort or protection: The clothing dilemma. **ASTM Special Technical Publication**, v. 1237, 1996.

SPERLING, M. VON. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**, 2005.

SREWARADACHPISAL, S. et al. Optimization of the rubber formulation for footwear applications from the response surface method. **Polymers**, v. 12, n. 9, 2020.

STIRWORLD. **Stan Smith Mylo by Adidas reimagines a classic sneaker in renewable mycelium**. Disponível em: <<https://www.stirworld.com/see-news-stan-smith-mylo-by-adidas-reimagines-a-classic-sneaker-in-renewable-mycelium>>. Acesso em: 30 jan. 2022.

UEKI, M. M.; PISANU, L. **Fundamentos do Processo de Rotomoldagem**. Disponível em: <[https://news.adidas.com/running/futurecraft.loop-phase-2--how-we-re-finding-away/s/43c42bf2-73ca-4ccb-930b-5ac5b6637a76](http://moldesinjecaoplasticos.com.br/fundamentos-do-processo-de-rotomoldagem/#:~:text=A rotomoldagem%2C também conhecida como,abertas%2C geralmente de grandes dimensões.>>.</p><p>VAN RENSBURG, M. L.; NKOMO, S. L.; MKHIZE, N. M. Life cycle and End-of-Life management options in the footwear industry: A review Waste Management and Research, 2020.</p><p>VERBECK, A.; SAHANGA, T. FUTURECRAFT.LOOP PHASE 2: HOW WE'RE FINDING AWAY - ADIDAS. Disponível em: <. Acesso em: 3 jan. 2022.

VIVOBAREFOOT. **Primus Bio | Vivobarefoot**. Disponível em: <<https://www.vivobarefoot.com/rw/primusbio>>. Acesso em: 19 jan. 2022.

WADDOUPS, R. **Allbirds Reveals the World's First Plant-Based Leather – SURFACE**. Disponível em: <<https://www.surfacemag.com/articles/allbirds-plant-based-leather/>>. Acesso em: 19 jan. 2022.

WIEBECK, H.; HARADA, J. **Plásticos de Engenharia Tecnologia e Aplicações**. [s.l.] ArtLiber Editora, 2005.

ZIELENIEWSKA, M. et al. Preparation and characterisation of rigid polyurethane foams using a rapeseed oil-based polyol. **Industrial Crops and Products**, v. 74, p. 887–897, 15 nov. 2015.

APÊNDICE A

Título	Autor	Ano	Resumo/Parte importante	Materiais Apresentados	Parte do calçado discutida	Metodologia	Finalidade	Palavras chave
Advanced technologies for shoe sole production	Fahanwi Asabuwa Ngwabebhoh et al	2020	Aplicação de impressão 3D para melhor conforto e menor gasto de materiais	TPR, Poliuretano, TPU e EVA	Sola	Impressão 3D	Maior eficiência do produto para o consumidor, gast mínimo de materias, indústria sustentável	Impressão 3D
Life cycle and End-of-Life management options in the footwear industry: A review	Melissa L Van Rensburg1, S'phumelele L Nkomo1 and Ntandoyenkosi M Mkhize2	2020	Matérias-primas da indústria calçadista, seu impacto ambiental e alternativas para seu descarte	Borrachas, Polímeros, Tecidos,	Sola e Cabedal	Revisão Bibliográfica	Rubber, Synthetic materials, textiles e leather. Análise do que mais ataca o meio ambiente e melhoras formas de descartar esses materiais	Impacto ambiental
KEEN HARVEST: WASTE UPCYCLED, FEWER GREENHOUSE GASES CREATED	Keen Footwear	2021	Utilização de resíduos agrícolas para diminuição de matérias-primas industrializadas	Caulas, cascas e folhas da agricultura industrial	Sola	Reportagem	This plant-based goodness replaces 51% of the petrochemicals in the outsole and 35% in the midsole.	Diminuição de matéria-prima industrial
Application of Bacterial Cellulose in the Textile and Shoe Industry: Development of Biocomposites	Marta Fernandes 1, António Pedro Souto 1, Fernando Dourado 2 and Miguel Gama 2	2021	Fabricação de um biocompósito a base de celulose bacterial para substituição de tecidos utilizados no cabedal de calçados e industrial textil	bacterial cellulose, acrylated epoxidized soybean oil	Cabedal	Fabricação e teste mecânico do material	Substituição de tecidos que devastam o meio ambiente, por tecidos naturais que não impactam o meio ambiente	Biocompósito

Adidas and Parley for the Oceans unveils swimwear made from ocean plastic	Alice Morby (Dezeen)	2017	Adidas e Parley se unem para limpeza dos oceanos e reutilização de garrafas PET, que são utilizadas como matéria prima dos produtos adidas	Polyethylene terephthalate (PET)	Cabedal	Reportagem	Limpeza dos oceanos, cuidado com o meio ambiente, reciclagem e diminuição de produção de materiais sintéticos através da reciclagem	Reciclagem
PET Bottle Recycling for Sustainable Textiles	Esin Sarioğlu and Hatice Kübra Kaynak	2018	Fabricação de fibra reciclada de PET	Polyethylene terephthalate (PET)	Cabedal	Processo de reciclagem e fabricação	Produção de uma fibra reciclada, eficiência mecânica baixa, mas pode ser melhorada e misturada	Fibra Reciclada
Adidas unveils fully recyclable Futurecraft Loop sneaker	Bridget Cogley	2019	Produção de tênis feito 100% de TPU, com a finalidade de ser devolvido e refeito através do mesmo material	TPU	Sola e Cabedal	Processo de reciclagem e fabricação	100% TPU, 100% reciclado, redução drástica de lixo	Tênis de 1 material
Thermal parameters for assessing thermal properties of clothing	Jianhua Huang	2006	The literature pointed some important attributes influencing the materials choice for comfort. As mentioned previously these attributes are heat and moisture transference, absorption, air permeability, added tension strength, weight, thickness and shape	-	Cabedal	Cálculo de propriedades térmicas que garantem conforto de um tecido	Aplicar ao texto quando pontar propriedades importantes aos materiais utilizados. E assim poder acrescentar referências de materiais naturais não necessariamente aplicados à sapatos	-

INVESTIGATION OF THE PHYSICAL AND THERMAL COMFORT CHARACTERISTICS OF KNITTED FABRICS USED FOR SHOE LININGS	Mirela BLAGA1 , Ana Ramona CIOBANU1 , Arzu MARMARAL I2 , Gzde ERTEKIN2 , Pinar ÇELİK2 *	2015	Malhas de tecidos, formas de costura e a junção desses materiais para formar um tecido que garanta conforto à tênis	cotton, bamboo, rayon viscose and Lyocel®	Cabedal	Testes mecânicos e térmicos	Garantia de eficiência e conforto a sapatos, a partir da costura e união de materias naturais. Formando um material sustentável e que diminui o impacto ambiental	Malhas naturais
Compósito de Poliuretano Elastomérico Reforçado com Fibras de Juta: Estudo das Propriedades Dinâmico-Mecânicas e Viscoelásticas	Oliveira, Robson Morijo de	2013	Compósito de Juta + poliuretano	Fibra de Juta, Poliuretano	Sola	Propriedades Dinâmico-Mecânicas e Viscoelásticas	Compósito de Juta + poliuretano	Compósitos naturais
Multilayered Cellulosic Material as a leather alternative in the footwear industry	Changhyun Nam1 and Young-A Lee2	2018	Alternativa sustentável para tecido para tênis, tecido com camadas de fibra de celulose	Bacterial cellulosic composite, denim, cânhamo	Cabedal	Testes mecânicos e térmicos no compósito	Comprovação mecânica e de conforto do mix de materiais naturais para criação de tecido para cabedal	cellulosic fiber
Corre 1 Eco	Olympikus	2021	Tênis ecológico	Poliéster reciclável, EVA verde, borracha natural	Sola e Cabedal	Produto	Produto ecológico e sustentável.	Olympikus
Caracterização mecânica e morfológica de solados produzidos com resíduos de laminados de PVC da indústria calçadista	Ademir Anildo Dreger 1 , Luiz Antônio Barbosa 2 , Ruth Marlene Campomanes Santana 3 , Eduardo Luis Schneider 4 , Fernando Dal Pont Morisso 5	2018	Reciclagem de PVC da indústria calçadista na fabricação de solados	PVC e resíduos do laminado de PVC	Sola e Cabedal	Fabricação de um material e teste mecânicos para atestar a eficiência	Redução de material descartado e com redução do impacto ambiental	Reciclagem de PVC

<p> Materiais e processo de produção de solados: destinação final de resíduos em empresas calçadistas no município de Franca-SP</p>	<p>Santos, Cristina D. Júnior, Tadeu A. D. M.</p>	<p>2017 -</p>	<p>NR, SR, TR, PU, TPU e EVA</p>	<p>Sola</p>	<p>Revisão Bibliográfica</p>	<p>Demonstrar os materiais usados na produção de solas</p>	<p>Polímeros</p>	
<p>Adidas Developing Plant-Based Leather to Be Used in Shoes</p>	<p>Avery Hartmans</p>	<p>2020</p>	<p>Produção de tecido para calçados a partir de Micélios, componente de fungos</p>	<p>plant-based leather</p>	<p>Cabedal</p>	<p>Reportagem</p>	<p>Alternativa vegana para diminuição de materiais que impactam para bio materiais</p>	<p>Biomaterial</p>
<p>FUTURE NATURAL: OUR NEWEST FOOTWEAR INNOVATION INTRODUCED WITH HARDEN VOL. 5</p>	<p>Adidas</p>	<p>2020</p>	<p>Produção de um one-piece shoemold</p>	<p>...</p>	<p>Sola e Cabedal</p>	<p>Reportagem</p>	<p>Produção de tênis moldado em uma única peça para simplificar o processo e garantir coesão do material, trazendo melhores respostas mecânicas</p>	<p>One-Piece Shoemold (Como os materiais sustentáveis ajudam nessa criação?)</p>
<p>On announces CleanCloud™ - turning carbon emissions into running shoes in cooperation with LanzaTech and Borealis</p>	<p>Borealis</p>	<p>2021</p>	<p>Criação de espuma para calçados a partir de CO2</p>	<p>EVA</p>	<p>Sola</p>	<p>Reportagem</p>	<p>A tecnologia de fermentação de gases, lanzatech, viabiliza que gases de co2 capturados de indústrias sejam transformados em pallets de EVA que resultam em solados para calçados da marca On</p>	<p>CleanCloud</p>

Sneature is a bio-shoe with a mycelium sole and a 3D-knitted canine hair body	Anmol Ahuja Stir world	2021	Criação de Calçado a partir de pelos de animais, micélios e borracha natural	Micélio, NR e pelo canino	Sola e Cabedal	Reportagem	Através de uma método completamente sustentável, Sneature é um calçado 100% natural que inicia sua produção com materiais naturais e pensa no fim da vida útil do produto que retorna à natureza de forma cíclica e sem impacto algum ao meio ambiente	Sneature
NO DYE, NO PROBLEM – NEW FOOTWEAR COLLECTION HELPS SAVE WATER AND ENERGY	Adidas	2021	Coleção sem pintura, apresenta um calçado na cor original do material dos materiais do calçado	-	Sola e Cabedal	Reportagem	A retirada da etapa de pintura permite a economia de 60% em energia e água. Ocorrendo ainda a mistura de um cabedal feito de material reciclado	Economia de água e energia
Allbirds Reveals the World's First Plant-Based Leather	RYAN WADDOUPS (Surface)	2021	Allbirds anuncia a criação de primeiro tecido 100% feito plantas	plant-based leather	Cabedal	Reportagem	Primeiro tecido 100% feito de planta garante 98% de diminuição de redução de emissão de carbono e é o início para o desuso de matérias-primas advindas do petróleo	plant-based leather

Cotton and corn! Reebok's newest sneaker is 'made from things that grow'	Trevor Mogg (DigitalTrends)	2018	Produção de tênis 100% oil-free feito de milho e algodão	Milho (propanodiel) e algodão natural	Sola e Cabedal	Reportagem	Alternativa sustentável da reebok que elimina materiais derivados do petróleo para um tênis completamente natural feito a base de milho para a sola e algodão para o cabedal	Milho e algodão
PRIMUS LITE II BIO MADE FROM PLANTS FOR MINIMUM IMPACT ON YOUR BIOMECHANICS AND THE PLANET	Vivobarefoot	2020	Tênis ecológico feito a partir de TPU natural e sola de espuma de algas	Plant-based bio TPU made from yellow dent field corn, algae foam	Sola e Cabedal	Produto	The Primus Lite II Bio, is our new plant-based performance shoe, made with over 30% natural plant-based materials	Plant-based TPU
Development of bio-based thermoplastic polyurethanes formulations using corn-derived chain extender for reactive rotational molding	Rashmi B; Rusu D; Prashantha K et al.	2013	Processo de transformação de milho para polímero	Bio-Based TPU	Sola	Fabricação de material	Importante pra entender de onde vem o polímero que faz a sola do reebok	Milho-based TPU
BIO-FOAM MADE FROM ALGAL BLOOM	Material District	2016	Polímero natural a base de algas	algae foam	Sola	Reportagem e processo de produção	Sua produção é responsável pela limpeza dos oceanos, uma vez que as algas são seres que desequilibram o ecossistema com o roubo de oxigênio.	Algae foam

Characterization of novel rigid-foam polyurethanes from residual palm oil and algae oil	Javier Chavarro Gomez a , Rabitah Zakaria a,* , Min Min Aung b , Mohd Noriznan Mokhtar a , Robiah Binti Yunus c	2020	Produção e testagem de polímero a base de óleo de palma e algas	Bio-Based PU	Sola	Artigo	Serve pra entender mais do processo de fabricação da sola de algas	Bio-Based PU
What is Nike Flyleather?	Nike	2013	Produção de tecido de alta performance a partir da reciclagem, criando um material mais leve e resistente	Nike Flyleather	Cabedal	Material industrial	Material composto de 50% de fibra de couro reciclada e alguns materiais sintéticos, produzindo um material de alta performance com boas características abrasivas e 40% mais leve que fibras de couro convencionais	Reciclagem
Stan Smith Mylo by Adidas reimagines a classic sneaker in renewable mycelium	Stir World - Jerry Joe Elengal	2021	Criação de tênis com micélio como tecido base do material	Micélio	Cabedal	Produto	Utilização de micélio para produção de cabedal de um tênis, com o intuito de contribuir para a disseminação de materiais sustentáveis e consequente diminuição no uso de materiais sintéticos.	Micélio
Ecoalf unveils Shao sneakers made from algae and ocean plastic	Deezen - Trudie Carter	2018	Tênis feito a partir de fibra de polietileno de detritos plásticos encontrados no oceano e algas	PET reciclado e Algas	Sola e Cabedal	Produto	Tênis feito a partir de fibra de polietileno de detritos plásticos encontrados no oceano e algas	PET Reciclado

These sneakers are made from recycled chewing gum	The Verge - Thuy Ong	2018	Produção de Sola de sapato a partir de chiclete.	Chiclete	Sola	Reportagem	Gum-tec é um polímero que tem em sua composição 20% de goma de mascar reutilizada. A Empresa holandesa, procurando limpar as ruas da cidade e diminuir os gastos públicos, criou um sistema que colhe e trata essa goma para se tornar matéria prima para a sola do sapato	Gum-tec
Sneakers with everlasting soles made from recycled tire	oth	2018	Produção de sapato com sola diretamente retirada de pneus reciclados	Pneus reciclado	Sola	Produto	Produção de sapato com sola diretamente retirada de pneus reciclados	Pneu reciclado
nat-2's 'Fungi Line' Introduces Luxe Vegan Shoes Made from Real Fungus	nat-2	2018	Produção de tecido a partir de fungos	Fungos	Cabedal	Produto	Produção de tecido a partir de fungos	Fungo
nat-2's Vegan Coffee Sneakers are Made from 50% Coffee Grounds	nat-2	2018	Produção de tecido a partir de grãos de café	Café	Cabedal	Produto	Produção de tecido a partir de grãos de café	Café
Synthetic Leather - How It's Made	Moss G	2008	Processo de produção de couro sintético	Couro Sintético	Cabedal	Reportagem		Couro Sintético
Properties of fibers and fabrics that contribute to human comfort	Hosseini Ravandi, S.A. Valizadeh, M.	2011	Propriedades de engenharia que definem um tecido que ofereça conforto ao usuário	Tecidos no geral	Cabedal	Artigo		Propriedades tecido

Evolução dos Materiais Termoplásticos na Indústria do Calçado	Centro Tecnológico do Calçado de Portugal	2012	Análise da relevância de polímeros para a indústria dos calçados, com aprofundamento em termoplásticos	Polímeros Termoplásticos	Solado	Relatório	Termoplásticos
An air-based automated material recycling system for postconsumer footwear products	Michael James Lee*, Shahin Rahimifard	2012	Foto de principais materiais utilizados para fabricação de calçados	Polímeros e Fibras	Solado e Cabedal	Artigo	Insumos
Renewable polymeric materials from vegetable oils: a perspective	Gerard Lligadas, Juan C. Ronda, Marina Galia, VirginiaCádiz	2013	Apresentação do processo de produção de polímeros a partir de óleos vegetais	Biopolímeros	Solado	Artigo	Plant-Based Polymer
Impactos ambientais no setor coureiro-calçadista em Campina Grande - PB	Edlúcio Gomes de Souza Damiano Carlos Freires de Azevedo Lúcia Santana de Freitas Gesinaldo Ataíde Cândido Vera Lucia Antunes de Lima	2013	Impactos ambientais	Couro, polímeros	Solado e Cabedal	Artigo	Impacto ambiental
GERAÇÃO DE RESÍDUOS AO LONGO DA CADEIA CALÇADISTA: UMA DISCUSSÃO A PARTIR DO MAPEAMENTO DA LITERATURA	Francisco G. Marotti A. Mello D	2014	Impactos ambientais	-	Solado e Cabedal	Artigo	Impacto ambiental

Preparation and characterisation of rigid polyurethane foams using a rapeseed oil-based polyol	Milena Zieleniewska, Michał K. Leszczyński, Maria Kurańska, Aleksander Prociak, Leonard Szczepkowski, Małgorzata Krzyżowska, Joanna Ryszkowska	2015	Utilização de óleo vegetal para produção de Bio-PU	Bio-PU	Solado	Artigo	Bio-PU
The History of the Running Shoe	Alger K	2017	Marcos históricos do mercado calçadista	Polímeros	Sola e Cabedal	Reportagem	Linha do Tempo
These lightweight adidas shoes are made from spider silk grown in a lab	OLIVER FRANKLIN-WALLIS	2017	Utilização de fibra natural, seda, para produção de cabedal	Seda	Cabedal	Reportagem	Seda
Analysis of footwear development from the design perspective: Reduction in solid waste generation	Elisa Guerra Ashton	2018	Impactos ambientais	-	Sola e Cabedal	Artigo	Impacto ambiental
Current progress in production of biopolymeric materials based on cellulose, cellulose nanofibers, and cellulose derivatives	Shaghaleh, Hiba; Xu, Xu; Wang, Shifa	2018	Amostragem de biopolímeros 100% naturais e suas aplicações	Biopolímeros	Sola	Artigo	Biopolímeros
Sustainable Footwear Market Size Industry Report, 2020-2027	GVR	2020	Relatório de mercado da indústria calçadista	Todos	Sola e Cabedal	Relatório	Mercado Calçadista

Transition of Plastics to Renewable Feedstock and Raw Materials: Bioplastics and Additives Derived From Natural Resources	Michel Biron	2020	Produção de biopolímeros à base de óleos vegetais	Biopolímeros	Sola	Artigo		Biopolímeros
Braskem I'm Green - Bio EVA	Braskem	2021	Produção de biopolímero a partir do etanol da cana de açúcar	Bio-EVA	Solado	Reportagem		Bio-EVA
A critical review on production of biopolymers from algae biomass and their applications	Ashokkumar KartikDilipkumar AkhiDivya LakshmiKannan PanchamoorthyGopinath Jayaseelan ArunRamachandran SivaramakrishnanArivalagan Pugazhendhi	2021	Análise da produção de biopolímeros à base de algas	Biopolímeros	Solado	Artigo		Algas
Sustentabilidade nos pés	ABICALÇADOS	2021	Alternativas de produção sustentável em empresas do Brasil	Biopolímeros e Materiais Recicladados	Solado e Cabedal	Reportagem		Sustentabilidade e ambiental
The application of biodegradable polymers as a sustainable alternative	Bruna Aline Araújo; Lucas Silva de Freitas; Kênia Freitas; Vanessa Rosales; Carlos Lima; Keila Machado	2021	Biopolímeros 100% naturais	Biopolímeros	Solado	Artigo		Biopolímeros
Sustainability in footwear industry: a big data analysis	Francesco Polese - Maria Vincenza Ciasullo - Orlando Troisi Gennaro Maione	2019	Sustentabilidade na indústria de Calçados	-	Solado e Cabedal	Artigo		Sustentabilidade e ambiental

<p>MEASURING FASHION 2018 Environmental Impact of the Global Apparel and Footwear Industries Study Full report and methodological considerations</p>	<p>Quantis</p>	<p>2018</p>	<p>Relatório de impacto ambiental gerado pela indústria calçadista</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>Relatório</p>		<p>Impacto Ambiental</p>
--	----------------	-------------	--	----------	----------	------------------	--	--------------------------