



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

JUSMAR ALVES DE CARVALHO

**SUBSTITUIÇÃO DO CARBONATO DE CÁLCIO POR RESÍDUO DE BORRACHA
COMO CARGA DE ENCHIMENTO EM TIRAS DE PVC PARA CHINELOS EM
UMA INDÚSTRIA CALÇADISTA NO ESTADO DA PARAÍBA**

**CAMPINA GRANDE
2018**

JUSMAR ALVES DE CARVALHO

**SUBSTITUIÇÃO DO CARBONATO DE CÁLCIO POR RESÍDUO DE BORRACHA
COMO CARGA DE ENCHIMENTO EM TIRAS DE PVC PARA CHINELOS EM
UMA INDÚSTRIA CALÇADISTA NO ESTADO DA PARAÍBA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Processos químicos industriais

Orientadora: Prof^ª. Dra. Pablicia Oliveira Galdino.

Coorientadora: Prof^ª. Me. Maria Elidiana Onofre Costa Lira Batista

**CAMPINA GRANDE
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

C331s Carvalho, Jusmar Alves de.

Substituição do carbonato de cálcio por resíduo de borracha como carga de enchimento em tiras de PVC para chinelos em uma indústria calçadista no estado da Paraíba [manuscrito] / Jusmar Alves de Carvalho. - 2018.

28 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.

"Orientação : Profa. Dra. Pablicia Oliveira Galdino , Coordenação do Curso de Química Industrial - CCT."

"Coorientação: Profa. Ma. Maria Elidiana Onofre Costa Lira Batista , Coordenação do Curso de Licenciatura em Química - CCT."

1. Indústria calçadista. 2. Química verde. 3. Polímeros. 4. Resíduo de borracha. I. Título

21. ed. CDD 660

JUSMAR ALVES DE CARVALHO

SUBSTITUIÇÃO DO CARBONATO DE CÁLCIO POR RESÍDUO DE BORRACHA
COMO CARGA DE ENCHIMENTO EM TIRAS DE PVC PARA CHINELOS EM UMA
INDÚSTRIA CALÇADISTA NO ESTADO DA PARAÍBA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Química Industrial
da Universidade Estadual da Paraíba, como
requisito parcial à obtenção do título de
bacharel em Química Industrial.

Área de concentração: Processos químicos
industriais

Aprovada em: 06/12/2018.

BANCA EXAMINADORA


Prof.^a Dra. Pablicia Oliveira Galvão (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof.^a Me. Maria Elidiana Onofre Costa Lira Batista (Coorientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof.^a Dra. Hêlvia Waleska Casullo de Araújo
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Ao meu Deus, pois sem a sua misericórdia não chegaria até aqui, aos meus familiares, amigos e professores, pela dedicação, companheirismo e amizade, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao meu Deus, pela sua misericórdia e pela força, coragem e paciência que depositou sobre mim pra trilhar esses longos anos de curso.

A meus pais Justo Alves de Carvalho e Maria da Guia Alves de Carvalho, que estiveram sempre ao meu lado dando todo apoio e dedicação para que esse sonho fosse realizado.

A minha esposa Francisca Geórgia Pereira de Oliveira pelo amor, apoio, companheirismo, paciência e compreensão.

Aos meus filhos Kilvia da Silva Carvalho, Kaio da Silva Carvalho e George Oliveira de Carvalho pelo amor, apoio e companheirismo.

Aos meus irmãos, familiares e amigos que me ajudaram nessa jornada de conhecimento.

A todos os meus colegas da universidade que tive a oportunidade de conhecer e aprender coisas novas durante esses anos.

A professora Pablicia Oliveira pela orientação nesse trabalho e dedicação nas disciplinas lecionadas.

A professora Elidiana Onofre pela coorientação nesse trabalho e dedicação na disciplina lecionada e por aceitar o meu convite para fazer parte da banca examinadora desse trabalho.

A professora Hélvia Waleska pela orientação na disciplina lecionada e por aceitar o convite para fazer parte da banca examinadora desse trabalho.

A minha amiga Glyllff Kenya pelo companheirismo durante todos esses anos.

A todos os professores e funcionários da UEPB pela presteza e atendimento quando nos foi necessário.

Agradeço.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthu Schopenhauer

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	07
2	OBJETIVO GERAL.....	08
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	09
3.1	Princípios da Química Verde.....	09
3.2	Polímeros.....	10
3.3	Composto de PVC.....	10
3.4	Cargas.....	12
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
4.1	Processo de fabricação dos chinelos de borracha/PVC.....	13
4.2	Formulações dos compostos de PVC para tiras.....	15
4.3	Fabricação das tiras de PVC com resíduo de borracha.....	15
4.4	Testes físicos laboratoriais.....	16
4.4.1	<i>Teste de resistência a tração.....</i>	16
4.4.2	<i>Teste de determinação da dureza Shore A.....</i>	17
4.4.3	<i>Teste de determinação da resistência a flexão.....</i>	18
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
5.1	Custos.....	22
5.2	Lucros.....	24
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	25
	REFERÊNCIAS.....	27

SUBSTITUIÇÃO DO CARBONATO DE CÁLCIO POR RESÍDUO DE BORRACHA COMO CARGA DE ENCHIMENTO EM TIRAS DE PVC PARA CHINELOS EM UMA INDÚSTRIA CALÇADISTA NO ESTADO DA PARAÍBA

Jusmar Alves de Carvalho*

RESUMO

A geração de resíduo de borracha da indústria calçadista pode trazer sérios prejuízos para o meio ambiente, porém, aplicando princípios da Química Verde voltados para sustentabilidade é possível reduzir esse problema. Com base nisso, esse trabalho teve como objetivo substituir o carbonato de cálcio usado como carga na fabricação de tiras de PVC por resíduos de borracha dos chinelos (reduzindo 45% o descarte de resíduos de borracha). A reincorporação tem base no fato das cargas serem usadas principalmente para redução de custo sem comprometer as características físicas do produto. As tiras de PVC foram produzidas usando 10% de resíduo de borracha seguindo todo o processo produtivo, submetendo-as aos testes físicos de controle adotados pela indústria, como resistência a tração, dureza e resistência a flexões, ficando com os resultados dentro dos valores exigidos pela empresa. Produzindo mensalmente 17 milhões de pares utilizando o composto de PVC proposto associado com a redução mensal de R\$ 6.375,00 no custo com descarte dos resíduos, a indústria terá um lucro mensal de R\$ 176.375,00 e uma redução mensal na compra de insumo no valor de R\$ 19.125,00. Diante do exposto, concluiu-se que a substituição do carbonato de cálcio como carga de enchimento em compostos de PVC usados na fabricação de tiras de dedo por resíduo de borracha, teve suas características físicas aprovadas, proporcionando a empresa um lucro na produção de tiras reduzindo o custo com compra de matéria-prima e descarte de resíduos, e principalmente contribuindo com o meio ambiente.

Palavras-Chave: Indústria calçadista. Resíduo de borracha. Química Verde.

1 INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações da sociedade moderna é a geração de resíduos urbanos e os resíduos oriundos dos variados processos industriais existentes. As quantidades cada vez maiores e a diversidade de produtos oferecidos pela industrialização vieram atreladas as enormes quantidades de resíduos gerados durante as várias etapas de fabricação desses produtos. Esses resíduos muitas vezes não têm o tratamento adequado e nem destinação correta devido às limitações econômicas ou de processo e acabam sendo descartado em locais inapropriados, prejudicando o meio ambiente. A pesquisa e tecnologia oferecem soluções que buscam diminuir ou até mesmo eliminar a geração desses resíduos, atuando desde o início do

* Aluno de Graduação em Química Industrial na Universidade Estadual da Paraíba – Campus I.
Email: jusmar.carvalho@email.com.br

desenvolvimento do produto com o planejamento correto de todas as etapas e recursos necessários envolvidos no processo a fim de mitigar os possíveis problemas e proporcionar um tratamento correto através de técnicas de reciclagem ou reincorporação dos resíduos gerados.

Um seguimento industrial bastante importante para a economia brasileira e paraibana é a indústria calçadista, em 2017 a produção de calçados no Brasil superou a marca de 900 milhões de pares produzidos, sendo o quarto maior produtor de calçados do mundo, atrás apenas de China, Índia e Vietnã. O estado da Paraíba é o segundo maior produtor de calçados do país, com uma produção de 200 milhões de pares em 2017 e possuindo um total de 361 empresas, gerando mais de 30 mil empregos diretos e indiretos. Campina Grande é a cidade pólo do setor, responsável por 94,5% de todo calçado produzido no estado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE CALÇADOS, 1998).

Devido à característica dos materiais usados na fabricação dos calçados, a maior parte dos resíduos gerados pela indústria calçadista é formado por compostos de borracha, que por se tratarem de polímeros termofixos possuindo uma estrutura tridimensional com ligações cruzadas não permitindo ser remoldados quando submetidos ao aquecimento, gera uma certa dificuldade de processamento e aproveitamento desses resíduos, sendo uma tratativa bastante onerosa para as empresas e acabam sendo descartados em aterros industriais ou incinerados (SERRANO, 2009).

Diante desse problema que a indústria calçadista vive, aliado com as pressões da sociedade civil cada vez mais atenta, exigente e preocupada com as questões ambientais como também a atuação promovida pelas entidades governamentais quer seja com a fiscalização ou desenvolvendo leis cada vez mais rigorosas, surge o pensamento da Química Verde para auxiliar no desenvolvimento de processos sustentáveis para diminuir a geração de resíduos e consequentemente os danos causados ao meio ambiente (PRADO, 2003).

A Química Verde tem o objetivo desenvolver tecnologias e processos sem poluição através da aplicação de princípios que regulamentam os processos evitando os desperdícios e consequentemente trazendo benefícios econômicos e ambientais (PRADO, 2003).

2 OBJETIVO GERAL

Reincorporar os resíduos de borracha gerados na fabricação de chinelos em composto de PVC usado na produção de tiras de dedo de chinelos em uma indústria calçadista localizada no estado da Paraíba, aplicando os princípios da Química Verde.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Princípios da Química Verde

A Química Verde se baseia em 12 princípios básicos que mostram o cuidado com o meio ambiente e o bem-estar dos seres humanos, são eles:

- 1) Prevenção: prevenir a formação de resíduos é melhor e gera menos custos com correções ou tratamentos posteriores dos mesmos;
- 2) Economia de Átomos: desenvolver metodologias sintéticas que incorporem ao máximo todos os materiais iniciais no produto final;
- 3) Reações com compostos de menor toxicidade: sempre que possível, a síntese de um produto químico deve ser feita de forma a gerar substâncias que tenha pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao meio ambiente;
- 4) Desenvolvimento de compostos seguros: desenvolver produtos químicos que realizem a função desejada, menos tóxico possível;
- 5) Diminuição do uso de solventes e auxiliares: evitar sempre que possível o uso de substâncias químicas auxiliares como solventes, agentes de separação, agentes secantes, etc.;
- 6) Eficiência energética: sempre conduzir os métodos sintéticos à pressão e temperatura ambientes diminuindo a energia gasta durante um processo químico reduzindo assim o impacto econômico e ambiental;
- 7) Uso de substâncias renováveis: sempre que possível utilizar matérias-primas renováveis e economicamente viável, substituindo as fontes não-renováveis;
- 8) Evitar a formação de derivados: sempre que possível minimizar ou até mesmo evitar a derivatização desnecessária (uso de grupos bloqueadores, proteção ou desproteção, modificação temporária por processos físicos e químicos), pois, estas etapas necessitam de reagentes adicionais e podem gerar resíduos indesejáveis;
- 9) Catálise: Usar sempre reagentes catalíticos tão seletivos quanto possível, pois, esses são melhores do que os reagentes estequiométricos;
- 10) Desenvolvimento de compostos degradáveis: o ideal é desenvolver compostos que sejam degradados a produtos inofensivos, logo após cumprirem a sua função;
- 11) Análise em tempo real para a prevenção da poluição: desenvolver metodologias analíticas que viabilizem um monitoramento e controle dentro do processo, em tempo real, antes da formação de substâncias nocivas;

12) Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes: Escolher de maneira correta as substâncias, bem como sua utilização em um processo químico para diminuir o risco de acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios (KIRCHHOFF, 2002; HJERESSEN; SCHUTT; BOESE, 2000; WINTERTON, 2016; TROST, 1991, 1995).

Os princípios da Química Verde são para prevenir a formação de subprodutos e promover a reciclagem dos resíduos. Sendo assim, esses princípios são de extrema importância, principalmente no tocante aos processos industriais, reduzindo os custos com descartes e maximizando a aplicação de todos os materiais necessários para o produto final (PRADO, 2003).

3.2 Polímeros

Polímeros são substâncias formadas de macromoléculas originadas a partir de unidades estruturais menores que se repetem chamadas monômeros (ROCHA; LOVISON; PIEROZAN, 2007).

Os polímeros podem ser classificados de acordo com a capacidade de se fundir quando são submetidos à determinada temperatura. Dessa forma eles se dividem em termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos são aqueles que podem ser moldados repetidamente através do amolecimento pelo aumento da temperatura e endurecidos pelo resfriamento. O PVC é um exemplo de termoplástico. Já os termofixos são aqueles que não podem ser remoldados quando submetidos ao aquecimento devido a sua estrutura tridimensional com ligações cruzadas. A borracha é um exemplo de termofixo, porém, podem ser reutilizados como cargas de enchimento em outros materiais através de processamento mecânicos como a moagem que reduz o tamanho de suas partículas transformando em pó (ROCHA; LOVISON; PIEROZAN, 2007).

3.3 Composto de PVC

O PVC é formado por 57% de cloro e 43% de eteno. A resina de PVC sozinha não tem aplicação industrial, pois, não se pode processá-la devido às suas características físicas e químicas. Para a fabricação de produtos em PVC, é necessária a adição de substâncias químicas chamadas aditivos. A mistura da resina de PVC com esses aditivos é chamada de composto de PVC. O tipo de resina e os aditivos que são incorporados para fabricação do composto irão fornecer características específicas ao produto final, como rigidez ou

flexibilidade, resistência mecânica ou até mesmo promovendo a redução de custos do composto. Realizada essa mistura, o composto de PVC é, então, inserido em máquinas específicas para serem transformados ou processados no produto final desejado, como tubos, conexões, frascos, tiras de chinelos, etc. O Quadro 1 abaixo apresenta os principais aditivos incorporados às resinas de PVC, bem como suas funções (RODOLFO JUNIOR; NUNES; ORMANJI, 2006).

Quadro 1: Principais aditivos e suas funções no composto de PVC

Matéria-prima	Função
Agentes de expansão	Formação de estrutura celular reduzindo a densidade.
Antibloqueios	Redução da aderência.
Tensoativos	Redução do embaçamento.
Biocidas	Redução de formação de fungos e bactérias.
Deslizantes	Redução do coeficiente de atrito.
Desmoldantes	Redução da adesão as paredes dos moldes.
Espessantes	Aumento da viscosidade.
Lubrificantes	Redução da fricção durante o processamento.
Modificadores de fluxo	Alteração do comportamento de fluxo durante o processamento.
Modificadores de impacto	Aumento da resistência ao impacto.
Pigmentos	Coloração.
Plastificantes	Modificação da dureza e flexibilidade.
Redutores de viscosidade	Redução de viscosidade de pastas.
Retardantes de chama	Modificação das características de inflamabilidade.
Solventes	Formação de soluções com o PVC.
Cargas	Redução de custos e alteração de propriedades mecânicas, térmicas e dielétricas.

Fonte: RODOLFO JUNIOR; NUNES; ORMANJI (2006)

3.4 Cargas

Cargas são compostos usados na sua grande maioria para reduzir custo de uma formulação ou também em alguns casos melhorar as propriedades físicas e de processamento. Controlando as quantidades de carga na formulação, é possível acrescentar propriedades físicas importantes aos produtos de PVC tais como: resistência mecânica, aumento da dureza, resistência a flexão entre outras. As cargas possuem uma característica bastante importante que favorece sua utilização, por serem materiais inertes, não sofrem alterações significativas durante o processamento do composto. É possível a utilização de uma grande variedade de materiais como cargas, os principais materiais são: sílicas, argilas, amianto, talco, caulim e carbonato de cálcio (ROCHA; LOVISON; PIEROZAN, 2007).

O carbonato de cálcio natural é extraído de jazidas de calcita, calcáreo e mármore depois de extraído ela passa por um processo de moagem e peneiramento onde é classificado utilizando peneiras específicas, obtendo-se cargas com os mais variados tamanhos de partícula, sendo que para os processos industriais são desejadas as partículas com tamanhos menores, pois, elas proporcionam ao produto final melhor propriedades mecânicas como também um excelente acabamento superficial. Os carbonatos de cálcio provenientes de origem natural possuem diferença na estrutura cristalina, essa diferença influencia a morfologia das partículas. Carbonato de cálcio natural extraído de jazidas de calcáreo apresenta partículas com maior facilidade de dispersão e um excelente acabamento superficial do produto final, porém, apresentam uma coloração extremamente variável, dificultando com isso a uniformidade do processo. Já os carbonatos de cálcio obtidos de jazidas de calcitas caracterizam-se por possuírem partículas com menos dispersão como também o acabamento superficial do produto acabado não fica com o aspecto tão bom quando comparado aos produtos fabricados com carbonatos de cálcio de cretáceos. Os carbonatos de cálcio obtidos de jazidas de mármore podem se destacar por possuírem excelente brancura, ideal para o uso em produtos que necessitem uma coloração mais clara. Existem também os carbonatos de cálcio precipitados, esses são obtidos através de processos químicos que partem do carbonato de cálcio natural impuro, sendo decomposto e novamente formado ao longo dessa reação, as impurezas contidas no material vão sendo separadas nesse processo, resultando em um material com a pureza bastante elevada, branco e de coloração bem controlada. Através do processo de precipitação, é possível controlar as características finais do carbonato de cálcio, obtendo cargas com partículas menores e mais uniformes em relação as dos carbonatos de cálcio naturais (RODOLFO JUNIOR; NUNES; ORMANJI, 2006).

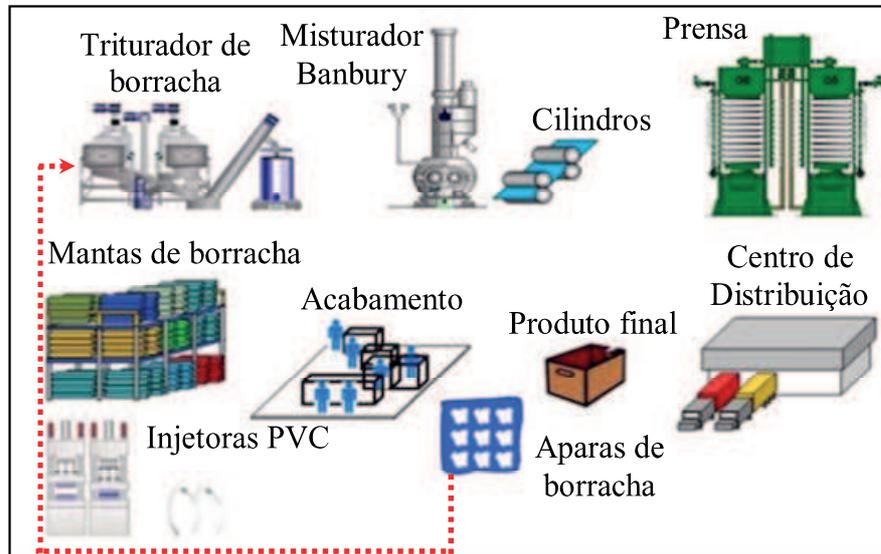
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Processo de fabricação dos chinelos de borracha/PVC

Os chinelos são fabricados com um solado de composto de borracha expandida vulcanizada e uma tira de composto de PVC injetado, cujas formulações variam de acordo com as características desejadas do produto final. Na formulação do composto de borracha do solado, são incorporados 40% de resíduos das próprias aparas de borracha que sobram do processo de corte do solado que acontece na etapa de acabamento do chinelo. Estas aparas são separadas por cor e trituradas em máquinas trituradoras e depois peneiradas e transformadas em pó de borracha para incorporação no novo composto a ser produzido. Os outros 60% da formulação são de produtos químicos como borracha, esponjantes, óleos, agentes de expansão, agentes de vulcanização, etc. Este composto é misturado em um misturador tipo banbury, depois conformado em um misturador aberto de cilindros para em seguida se vulcanizado em prensas hidráulicas sob pressão e aquecimento formando a manta de borracha. Já a tira de dedo é fabricada pelo processo de injeção do composto de PVC. A resina de PVC é misturada em turbomisturadores junto com os demais aditivos: óleo epoxidado, óleos plastificantes, cargas, estabilizantes térmicos, pigmento, etc., esse composto é submetido à agitação constante sob temperatura até a conclusão da mistura, de acordo com o tempo especificado. Em seguida, o composto de PVC é resfriado, ensacado e enviado para as máquinas de injeção para ser moldado. O processo de moldagem por injeção consiste essencialmente no amolecimento do composto de PVC num cilindro aquecido e sua conseqüente injeção em alta pressão para o interior de um molde relativamente frio, onde endurece e toma forma final de tiras de dedo. As tiras moldadas são então expelidas do molde, recebendo em seguida os retoques finais, ficando, pronto para a operação de montagem dos chinelos que junto com as mantas de borracha vão para a etapa de acabamento onde é realizado o corte das mantas de borracha em uma prensa hidráulica do tipo balancin, separando o pé esquerdo e direito, é nessa etapa onde são geradas as aparas de borracha que sobram do corte. Após o corte, os solados vão para a máquina de furação onde é feito os furos por onde serão colocadas as tiras de dedo. Depois dessa etapa os solados já cortados e furados seguem para montagem das tiras de dedo em uma máquina pneumática que possuem pinças de fixação para as tiras. Com as solas montadas, é feita uma inspeção, forma-se o par e coloca em embalagens individuais para depois acondicionar em caixas corrugadas e transportadas

por uma esteira até o Centro de Distribuição. A Figura 1 abaixo mostra o esquema de fabricação dos chinelos de borracha/PVC.

Figura 1: Esquema de fabricação de chinelos de borracha/PVC



Fonte: Próprio autor (2018)

A indústria calçadista estudada tem uma produção média de 17 milhões de pares/mês, gerando aproximadamente 1.904.000 kg de resíduo de borracha por mês, onde 95% são aparas de solados monocores que depois de trituradas são incorporadas na fabricação de novas mantas de borracha, os outros 5% restantes desse resíduo é composto de aparas de solados com duas ou mais cores, que após serem trituradas e incorporadas na fabricação de novas mantas, aparecem fragmentos no produto final, fugindo do padrão. Essas aparas então são separadas e enviadas para uma empresa especializada e legalizada onde são incineradas em fornos dotados com filtros específicos para esse processo. A Figura 2 mostra as aparas de borracha que possuem mais de uma cor que são destinadas para incineração.

Figura 2: Aparas de borracha de modelos de solados com mais de uma cor para serem incineradas



Fonte: Próprio autor (2018)

4.2 Formulações dos compostos de PVC para tiras

O composto de PVC usado pela fábrica para a produção das tiras dos chinelos é composta em torno por 10% do seu peso por carbonato de cálcio como carga. Por questões de segredo industrial somente a quantidade do carbonato de cálcio pode ser especificada na formulação conforme podemos observar na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Formulação base do composto de PVC usado na fabricação de tiras

Matéria-prima	Valor em %
Resina de PVC	-
Óleo Plastificante	-
Óleo Epoxidado	-
Ácido esteárico	-
Estabilizante térmico	-
Carbonato de cálcio	10%
Borracha Nitrílica	-
Pigmento	-

Fonte: Próprio autor (2018)

4.3 Fabricação das tiras de PVC com resíduo de borracha

As tiras de PVC foram produzidas conforme a metodologia de fabricação da própria indústria, apenas substituindo na mesma proporção de 10% o carbonato de cálcio pelo pó de borracha na etapa de mistura do composto de PVC seguindo a formulação de acordo com a Tabela 1.

Foram recolhidas amostras das aparas de borracha que possuem mais de uma cor no solado que seriam destinadas a incineração e realizado o processo de trituração e peneiramento para transformação em pó de borracha. Com a obtenção do pó de borracha, ele foi adicionado ao composto de PVC na mesma proporção de 10% conforme indicado para a carga na formulação base e misturado no turbomisturador do próprio processo produtivo usado pela indústria conforme mostrado na Figura 3. Após a mistura, o composto de PVC com pó de borracha foi ensacado e lavado para setor de injeção de PVC onde foi injetado e moldado em forma de tiras em uma máquina injetora Golden Eagle 180/S usado na produção das tiras pela indústria. Por fim, após a injeção e com as tiras moldadas, as amostras foram

coletadas, separadas, identificadas e levadas para os testes físicos no laboratório da própria indústria. A Figura 4 mostra a injeção e as tiras de PVC injetadas com o composto usando ó de borracha como carga de enchimento.

Figura 3: Pó de borracha e turbomisturador de PVC



Fonte: Próprio autor (2018)

Figura 4: Injeção e tiras de PVC injetadas com pó de borracha



Fonte: Próprio autor (2018)

4.4 Testes físicos laboratoriais

4.4.1 Teste de resistência à tração

Seguindo a metodologia da ABNT NBR 14552, o teste foi realizado em um dinamômetro DL500 / Emic. Para esse ensaio foram usadas 3 amostras das tiras de dedo de chinelo que foram fabricadas usando resíduo de borracha como carga. As tiras foram fixadas nas pinças da máquina universal de tração conforme mostrado na Figura 5, com as amostras fixadas nas garras, foi feito o acionamento da máquina a uma velocidade de (100 ± 10) mm/min. até a ruptura total da tira. Os valores obtidos no ensaio foram registrados no software do computador que é acoplado na máquina universal de tração. A Tabela 2 apresenta os valores orientativos para o teste de resistência a tração de tiras adotada pela empresa.

Figura 5: Teste de resistência à tração

Fonte: Próprio autor (2018)

Tabela 2: Valores orientativos para o teste de resistência a tração de tiras

Amostra	Valor em (N)
Tiras de dedo de sandálias	Mínimo: 250

Fonte: Próprio autor (2018)

4.4.2 Teste de determinação da dureza Shore A

O teste de determinação da dureza Shore A seguiu a metodologia conforme indicada na ABNT NBR 14454:2007, realizado utilizando um durômetro Shore A DUR02-PDA00-00 / Bareiss. Para esse testes foram separadas 3 amostras das tiras de PVC fabricadas com resíduo de borracha. As tiras foram colocadas sobre a mesa do suporte do durômetro e acionado a alavanca efetuando a leitura no indicador digital após 3 segundos. A Figura 6 abaixo mostra o teste de determinação da dureza Shore A. A Tabela 3 apresenta os valores orientativos adotados pela empresa.

Figura 6: Teste de determinação da dureza Shore A

Fonte: Próprio autor (2018)

Tabela 3: Valores orientativos para o teste de determinação da dureza de tiras

Amostra	Valor em (Shore A)
Tiras de PVC	50 - 95

Fonte: Próprio autor (2018)

4.4.3 Teste de determinação da resistência à flexão

O teste de determinação da resistência à flexão seguiu a metodologia especificada na norma ABNT NBR 15171:2016, o teste foi realizado utilizando uma máquina de flexão de calçado / Maqtest. Para esse ensaio as tiras de PVC injetadas com pó de borracha como carga tiveram que ser montadas no solado para ser realizada a fixação na máquina, também foram separadas e montadas 3 amostras de tiras de PVC injetadas com pó de borracha como carga. A máquina foi regulada com um ângulo de 35° conforme valor do ângulo especificado para sandálias e programada para 500.000 flexões a uma velocidade de (140 ± 10) ciclos por minuto. Após fixadas às amostras a máquina foi acionada iniciando o teste conforme a Figura 7 abaixo. A Tabela 3 apresenta os valores orientativos para o teste de determinação da resistência a flexões de sandálias adotado pela empresa.

Figura 7: Teste de determinação da dureza Shore A

Fonte: Próprio autor (2018)

Tabela 4: Valores orientativos para o teste de determinação da resistência a flexões de sandálias

Amostra	Valor em (número de flexões)
Sandálias	500.000 flexões sem danos

Fonte: Próprio autor (2018)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O parâmetro inicial tomado como base para substituição do carbonato de cálcio pelo resíduo de borracha como carga no composto de PVC usado na fabricação de tiras de dedo de chinelo foi o teste de resistência à tração, pois, esse é o teste principal já que determina a resistência final do produto acabado. Após a realização preliminar desse teste observou-se que o resultado encontrado ficou dentro do valor orientativo adotado pela empresa estudada, que é de no mínimo 250 N e usado como aprovação para as tiras fabricadas com o composto de PVC base que utiliza o carbonato de cálcio como carga. Observamos que os resultados obtidos e demonstrados na Tabela 5 foram satisfatórios e ficaram dentro do valor especificado pela empresa.

Tabela 5: Valores encontrados no teste de resistência a tração

Amostra	Resultados em (N)	Valor orientativo
Corpo-de-prova 1	255,13	Mínimo: 250 N
Corpo-de-prova 2	254,60	Mínimo: 250 N
Corpo-de-prova 3	256,16	Mínimo: 250 N
Média	255,29	Mínimo: 250 N

Fonte: Próprio autor (2018)

Comparando o valor médio obtido nos três corpos-de-prova usados no teste de resistência a tração realizado nas tiras fabricadas com o composto de PVC proposto usando resíduo de borracha como carga, com o valor médio do histórico dos resultados dos testes de resistência a tração realizados periodicamente pela empresa nas tiras fabricadas com o composto de PVC base usando o carbonato de cálcio como carga, temos o resultado conforme a Tabela 6 abaixo.

Tabela 6: Comparativo do teste de resistência a tração entre as tiras com carbonato de cálcio e resíduo de borracha

Amostras	Média: Resultados em (N)
Tiras com carbonato de cálcio	258,60
Tiras com resíduo de borracha	255,29

Fonte: Próprio autor (2018)

Podemos observar que a média dos resultados do teste de tração realizado na tiras fabricadas com o composto de PVC proposto usando resíduo de borracha como carga ficou 1,27% menor quando comparado com a média baseada no histórico dos testes de tração realizado pela fábrica nas tiras produzidas com o composto de PVC base usando carbonato de cálcio como carga, mesmo assim, observamos que os resultados obtidos ficaram dentro do valor orientativo adotado pela empresa. Essa queda observada na resistência a tração pode está relacionada com o tamanho da partícula do resíduo de borracha, pois, Rodolfo Junior; Nunes; Ormanji (2006) afirmam que o tamanho da partícula do material usado como carga pode influenciar nas características mecânicas do produto final, os autores afirmam ainda que a presença de partículas com tamanho excessivo pode prejudicar as propriedades mecânicas de resistência a tração. Para ter a certeza que a queda na tração foi provocada pelo tamanho da partícula do resíduo de borracha, será necessária a realização dos testes utilizando resíduo de borracha com partículas menores.

Seguindo com os resultados dos testes realizados, analisaremos agora os resultados do teste de determinação da dureza Shore. A Tabela 7 abaixo mostra os resultados encontrados.

Tabela 7: Valores encontrados no teste de determinação da dureza Shore A

Amostra	Resultados em (Shore A)	Valor orientativo
Corpo-de-prova 1	53,2	50 – 95 Shore A
Corpo-de-prova 2	54,5	50 – 95 Shore A
Corpo-de-prova 3	54,1	50 – 95 Shore A
Média	53,9	50 – 95 Shore A

Fonte: Próprio autor (2018)

Podemos observar com base nos resultados encontrados no teste de determinação da dureza Shore A realizado nas tiras fabricadas com o composto de PVC proposto usando resíduo de borracha como carga, ficaram dentro do valor orientativo adotado pela empresa. Valores de dureza elevados podem causar danos no produto final, pois, o material se torna quebradiço, perdendo sua capacidade flexível. Por se tratar de um composto de PVC flexível usado em tiras de dedo de chinelo, uma dureza excessiva nas tiras pode causar muito desconforto para o usuário, já que ao realizar o movimento de caminhada, os chinelos são submetidos a várias flexões contínuas que vão provocando um grande atrito na região do pé que está em contato com a tira. O valor orientativo adotado pela empresa para o teste de determinação da dureza Shore A nas tiras de dedo usando o composto de PVC base com

carbonato de cálcio como carga é de 50 a 95 Shore A. Os resultados obtidos pelas tiras de dedo fabricadas com o composto de PVC proposto usando resíduo de borracha como carga ficaram dentro do valor orientativo adotado pela empresa.

Comparando o valor médio obtido com os três corpos-de-prova usados no teste de determinação da dureza realizado nas tiras fabricadas com o composto de PVC proposto usando resíduo de borracha como carga com o valor médio do histórico dos resultados dos testes de determinação da dureza realizados periodicamente pela empresa nas tiras fabricadas com o composto de PVC base usando o carbonato de cálcio como carga, temos o resultado conforme a Tabela 8 abaixo.

Tabela 8: Comparativo do teste de determinação da dureza Shore A entre as tiras com carbonato de cálcio e resíduo de borracha

Amostras	Média: Resultados em (Shore A)
Tiras com carbonato de cálcio	54,0
Tiras com resíduo de borracha	53,9

Fonte: Próprio autor (2018)

Conforme podemos observar, o valor médio do histórico da empresa aponta um resultado de 54,0 Shore A para as tiras com composto de PVC base usando carbonato de cálcio como carga, enquanto que o valor médio encontrado para as tiras com composto de PVC proposto com resíduo de borracha como carga obteve um resultado de 53,9 Shore A. O resultado de dureza maior para as tiras com carbonato de cálcio pode está relacionado com a natureza mineral da carga, pois, Rodolfo Junior; Nunes; Ormanji (2006) afirmam que cargas de natureza mineral possuem uma dureza maior se comparadas com outros materiais.

Por último, temos os resultados encontrados no teste de resistência à flexão. Estes resultados se mostraram bastante satisfatório, uma vez que todos ficaram dentro do valor orientativo adotado pela empresa, onde é especificado que as amostras testadas não podem apresentar danos ou rupturas na sua estrutura após as 500.000 flexões. Os resultados obtidos mostraram a boa flexibilidade das tiras fabricadas com o composto de PVC proposto usando resíduo de borracha como carga, já que a análise realizada nos três corpos-de-prova após as 500.000 flexões mostraram que as amostras não apresentaram danos ou rupturas após o teste. Os chinelos quando em uso, estão sujeitos a várias ações repetidas (flexões), de maior ou de menor frequência, podendo gerar uma série de problemas na sua estrutura quando os materiais que são usados na sua fabricação não possuem uma boa qualidade, como, por exemplo, o

rompimento da tira quando essa não tem uma flexibilidade desejável. A Tabela 9 abaixo mostra os valores encontrados no teste de resistência à flexão.

Tabela 9: Valores encontrados no teste de resistência a flexão.

Amostra	Resultados em (número de flexões)	Valor orientativo
Corpo-de-prova 1	500.000 (sem danos)	500.000 (sem danos)
Corpo-de-prova 2	500.000 (sem danos)	500.000 (sem danos)
Corpo-de-prova 3	500.000 (sem danos)	500.000 (sem danos)
Média	500.000 (sem danos)	500.000 (sem danos)

Fonte: Próprio autor (2018)

Comparando o valor médio dos três resultados obtidos no teste de resistência a flexão realizado nas tiras fabricadas com o composto de PVC proposto usando resíduo de borracha como carga com o valor médio do histórico dos resultados dos testes de resistência a flexão realizados periodicamente pela empresa nas tiras fabricadas com o composto de PVC base usando o carbonato de cálcio como carga, temos o resultado conforme a Tabela 10 abaixo.

Tabela 10: Comparativo do teste de resistência a flexão entre as tiras com carbonato de cálcio e resíduo de borracha

Amostras	Média: Resultados em (número de flexões)
Tiras com carbonato de cálcio	500.000 (sem danos)
Tiras com resíduo de borracha	500.000 (sem danos)

Fonte: Próprio autor (2018)

Observamos que o valor médio do histórico dos resultados dos testes de resistência a flexão realizados pela empresa nas tiras com o composto de PVC base usando o carbonato de cálcio como carga é igual ao valor médio encontrado no teste de resistência a flexão realizado nas tiras fabricadas com o composto de PVC proposto usando resíduo de borracha como carga.

5.1 Custos

O custo por kg de carbonato de cálcio é de R\$ 0,45, por mês são utilizados 42.500 kg no composto de PVC base. Para o descarte e incineração do resíduo de borracha o custo por

kg é de R\$ 0,15, a quantidade mensal de resíduo de borracha estimada para descarte e incineração é de 95.200 kg. A Tabela 11 apresenta os custos mensais com compra de carbonato de cálcio para o composto de PVC e descarte do resíduo de borracha.

Tabela 11. Custos mensais com compra de carbonato de cálcio para o composto de PVC e descarte do resíduo de borracha

Descrição	Custo
Compra de carbonato de cálcio	R\$ 19.125,00
Descarte de resíduo de borracha	R\$ 14.280,00
Total	R\$ 33.405,00

Fonte: Próprio autor (2018)

Após a total substituição do carbonato de cálcio usado como carga no composto de PVC pelo resíduo de borracha descartado, há uma eliminação na compra do carbonato de cálcio para o composto de PVC e uma redução na quantidade de resíduo descartado, com isso, os custos com compra e descarte serão minimizados, como mostra a Tabela 12.

Tabela 12. Custos mensais com compra de carbonato de cálcio para o composto de PVC e descarte do resíduo de borracha após a substituição

Descrição	Custo
Compra de carbonato de cálcio	R\$ 0,00
Descarte de resíduo de borracha	R\$ 7.905,00
Total	R\$ 7.905,00

Fonte: Próprio autor (2018)

O custo com o resíduo de borracha remanescente corresponde ao resíduo de borracha que sobra após ser retirada a quantidade necessária que será incorporada no composto de PVC, ou seja, $95.200 \text{ kg/mês} - 42.500 \text{ kg/mês} = 52.700 \text{ kg/mês}$ de resíduo de borracha.

O custo da carga do composto de PVC é calculado considerando o valor gasto com Matérias-Primas (MP), Mão de Obra Direta (MOD) que são os operadores necessários em todas as etapas de fabricação e as Despesas Gerais de Fabricação (DGF), que são despesas relacionadas à energia elétrica, embalagens, água, depreciação do maquinário, etc. Observem que as variáveis no custo da formulação estão na matéria-prima e mão de obra direta, sendo que na formulação atual do composto de PVC com carbonato de cálcio o custo com matéria-prima é maior, pois a fábrica tem que comprar. Na formulação proposta, o custo com matéria-

prima é menor, pois a matéria-prima usada é o próprio resíduo de borracha que seria descartado. Já no custo da mão de obra direta, observamos que na formulação atual o custo é menor, porque a mão de obra necessária é apenas a usada no processo de mistura e injeção do composto de PVC, e na formulação proposta tem o custo da mão de obra do processo de trituração e peneiramento do resíduo de borracha. A Tabela 13 abaixo mostra os custos da carga dos compostos de PVC para cada formulação.

Tabela 13: Custo da carga dos compostos de PVC

Composto de PVC	MP	MOD	DGF	Total
Base (CaCO ₃)	5,29	0,35	0,24	R\$ 5,88
Proposto (resíduo de borracha)	4,24	0,46	0,24	R\$ 5,54

Fonte: Próprio autor (2018)

Considerando que uma carga de composto de PVC é suficiente para produzir em média 40 pares de tiras e dividindo o custo de cada composto pelo número de tiras chegaremos ao custo por par de tiras. A Tabela 14 abaixo mostra o custo do par de tiras por composto de PVC.

Tabela 14: Custo do par de tiras por composto de PVC

Composto de PVC	Custo da carga	Total de tiras	Custo/par
Base (CaCO ₃)	R\$ 5,88	40	R\$ 0,14
Proposto (resíduo de borracha)	R\$ 5,54	40	R\$ 0,13

Fonte: Próprio autor (2018)

Observem que o custo do par de tiras teve uma redução de R\$ 0,01 após a substituição do carbonato de cálcio pelo resíduo de borracha.

5.2 Lucros

Antes da substituição, os custos para fabricação do par de tiras com carbonato de cálcio era R\$ 0,14 e os custos com o descarte do resíduo de borracha totalizavam R\$ 14.280,00 por mês. Após a substituição do carbonato de cálcio pelo resíduo de borracha o preço do par de tiras passou a ser de R\$ 0,13 e os custos com o descarte do resíduo de borracha passaram a ser R\$ 7.905,00 por mês. Ao adotar a tira com o composto de PVC

proposto utilizando o resíduo de borracha como carga, com a redução no custo do par de tiras em R\$ 0,01 em relação à tira com carbonato de cálcio e considerando a projeção de produção mensal feita pela empresa que é de 17 milhões de pares, somado ao valor economizado com o descarte mensal de resíduo de borracha, a indústria terá um lucro conforme mostrado na Tabela 15 abaixo.

Tabela 15: Lucro após a substituição do carbonato de cálcio por resíduo de borracha

Produção mês X Redução no custo do par de tiras	17.000.000 X R\$ 0,01 = R\$ 170.000,00
Redução no custo com descarte de resíduo	R\$ 6.375,00
Lucro Total (mês)	R\$ 176.375,00

Fonte: Próprio autor (2018)

A economia de R\$ 170.000,00 por mês na fabricação das tiras somando com o valor economizado com o descarte mensal de resíduo de borracha que é de R\$ 6.375,00, irá proporcionar a empresa um lucro mensal de R\$ 176.375,00, caso ela queira adotar esse processo de substituição do carbonato de cálcio pelo resíduo de borracha como carga na fabricação das tiras. Além da economia financeira, o novo processo reduziu a geração de resíduos de borracha destinados ao descarte em aproximadamente 45%.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observamos que esse trabalho apresentou uma alternativa viável para a indústria calçadista estudada caso ela venha a substituir o carbonato de cálcio por resíduo de borracha como carga na fabricação das tiras de PVC sem que haja perdas em suas características físicas, impactando diretamente nos lucros com a eliminação dos custos com compra de matéria-prima e redução nos custos com descarte do resíduo de borracha, promovendo com isso uma diminuição no preço final do par de tiras. O lucro calculado aplica-se exclusivamente a indústria estudada devido à particularidade do seu processo de fabricação que gera uma grande quantidade de resíduo de borracha que pode ser reincorporado na fabricação de novos produtos. Para outros processos de fabricação, uma nova análise de custo deverá ser realizada.

Além da economia financeira, a indústria atenderá aos princípios da Química Verde, pois, estará diminuindo o consumo de matéria-prima desnecessária, reduzindo a geração de resíduos de borracha contribuindo assim com o meio ambiente.

ABSTRACT

The generation of rubber waste from the footwear industry can cause serious damage to the environment, however, by applying Green Chemistry principles focused on sustainability, it is possible to reduce this problem. Based on this, this work aimed to replace the calcium carbonate used as a filler in the manufacture of PVC strips by rubber waste from the slippers (reducing rubber waste by 45%). The reincorporation is based on the fact that the loads are mainly used for cost reduction without compromising the physical characteristics of the product. PVC strips were produced using 10% rubber residue following the entire production process, subjecting them to the physical control tests adopted by the industry, such as tensile strength, hardness and resistance to flexing, with the results being within the required values for the company. Producing 17 million pairs monthly using the proposed PVC compound associated with the monthly reduction of R \$ 6,375.00 in the waste disposal cost, the industry will have a monthly profit of R \$ 176,375.00 and a monthly reduction in the purchase of raw material in the amount of R \$ 19,125.00. In view of the above, it was concluded that the substitution of calcium carbonate as filler in PVC compounds used in the manufacture of finger strips for rubber waste, had its physical characteristics approved, providing the company a profit in the production of strips reducing the cost of raw material purchase and waste disposal, and mainly contributing to the environment.

Keywords: Footwear industry. Rubber residue. Green chemistry.

REFERÊNCIAS

ANASTAS, P. T.; KIRCHHOFF, M. M. Origins, **Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry**. *Accounts of chemical research*, v. 35, n. 9, p. 686-694, 2002. Disponível em: http://www.qcc.cuny.edu/EHS/docs/WEEK_9a__paper_1.pdf. Acesso em: 3 out. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE CALÇADOS. Relatório setorial da indústria de calçados. Novo Hamburgo, 2018. Disponível em: <<http://www.abicalcados.com.br/noticia/relatorio-aponta-perda-de-competitividade-do-setor-calcadista>>. Acesso em: 20 out. 2018.

HJERESSEN, D. L.; SCHUTT, D. L.; BOESE, J. M.; J. Green Chemistry and Education. **Journal of Chemical Education**, v. 77, n. 12, p. 1543, 2000. Disponível em: <http://www.duluth.umn.edu/~rdavis/courses/che3791/Green/Papers/Education.pdf>. Acesso em: 3 out. 2018.

NBR 14454:2007. ABNT – Associação Brasileira de normas técnicas. Disponível em: <https://www.gedweb.com.br/home/>. Acesso em: 25 set. 2018.

NBR 14552:2006. ABNT – Associação Brasileira de normas técnicas. Disponível em: <https://www.gedweb.com.br/home/>. Acesso em: 25 set. 2018.

NBR 15171:2016. ABNT – Associação Brasileira de normas técnicas. Disponível em: <https://www.gedweb.com.br/home/>. Acesso em: 25 set. 2018.

PRADO, A. G. S. Química Verde, os desafios da química do novo milênio. **Química Nova**, Brasília, v. 26, n. 5, p. 738-744, Mar. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/qn/v26n5/17210.pdf>. Acesso em: 3 out. 2018.

ROCHA, E. C.; LOVISON, V. M. H.; PIEROZAN, N. J. **Tecnologia de Transformação dos Elastômeros**. 2. ed. São Leopoldo: SENAI, 2007. 352 p. v. 1.

RODOLFO JUNIOR, A.; NUNES, L. R.; ORMANJI, W. **Tecnologia do PVC**. 2. ed. São Paulo: ProEditores, 2006.

SERRANO, C. L. R. **Uso de resíduo de SBR proveniente da indústria de calçados em composições de SBR**. 2009. Porto Alegre, RS: UFRGS, 2009. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Engenharia de Minas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/18586>>. Acesso em: 20 set. 2018.

TROST, M. B. The atom economy – a search for synthetic efficiency. **Science (New York, N.Y.)**, v. 254, p. 1471-1477, 1991. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1962206>. Acesso em: 3 out. 2018.

TROST, M. B. Atom Economy – A Challenger for Organic Synthesis: Homogeneous Catalysis Leads the Way. **Angewandte Chemie International**, v. 34, ed. 3, p. 259-281, 1995. Disponível em: <http://jw1.nwnu.edu.cn/jpkc/hgxy/english/ppt/zpx/3%20Atom%20Economy-A%20Challenge%20for%20Organic%20Synthesis.pdf>. Acesso em: 3 out. 2018.

WINTERTON, N. Green chemistry: deliverance or distraction? **Clean Technologies and Environmental Policy**. v. 18, ed. 4, p. 991-1001, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-016-1118-y>. Acesso em: 3 out. 2018.