

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE INJEÇÃO DE CABEDAIIS MONOCORES EM PVC

Felipe Silva Lima, felipe05silva06@gmail.com.br¹

Alexsander de Sousa Medeiros, asmedeiros@gmail.com¹

Julliene Martins, jullieny@hotmail.com¹

Walman Benicio de Castro, walman.castro@ufcg.edu.br²

Wanderley Ferreira de Amorim Júnior, engenhariabrasileira@gmail.com²

¹Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica,

²Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Centro de Ciências e Tecnologia – CCT, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica – UAEM

Resumo: O crescimento da indústria, majora a quantia de resíduos orgânicos e inorgânicos na sociedade, assim o aperfeiçoamento de processos de fabricação, conglomerando questões ambientais e orçamentárias, ditam o ritmo do futuro para tal setor. Particularmente, na indústria calçadista identifica-se a elevação no consumo de Policloreto de Vinila (PVC), aliado a preocupação, sobretudo com geração de resíduos sólidos oriundos da injeção de cabedais monocores. Desta maneira, este artigo apresenta a avaliação de parâmetros experimentais e sua interferência sob processo de injeção de cabedais monocores em PVC, que fundamentam a qualidade do produto (sandálias), acoplado ao estudo frações de misturas recicladas, a fim de verificar seu desempenho mecânico. Para atingir este objetivo foi realizado, primeiramente, conferências junto à administração da empresa, a fim de traçar estratégias oportunas de intervenção, em seguida, seguindo um fluxo metodológico orquestrou-se a elaboração de matrizes de planejamento experimentais, de modo a otimizar a execução de ensaios mecânicos de tração e dureza, além de inspeção visual, amparada por recursos presentes na Tess Indústria e Comércio Ltda. – KENNER-PB e UFCG. Os ensaios realizados assinalaram que as propriedades mecânicas foram pouco afetadas pela adição de material reciclado, sendo possível a produção em escala industrial de cabedais monocores (preto), utilizando-se material reprocessado (1 ciclo), sem alteração significativa nas propriedades mecânicas, visuais e de conforto.

Palavras-chave: cabedais, PVC, injeção, parâmetros experimentais

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, sociedades espalhadas pelo globo, já não são capazes de perdurar sem a utilização dos polímeros, quer em modernas aplicações, quer como substituto dos materiais tradicionais (metais, madeira, vidro). Este movimento se deve à facilidade de conformação e fabricação dos polímeros, à possibilidade de obtenção de produtos complexos, leves em relação aos materiais clássicos, e ainda à boa relação custo-benefício atrelados ao desempenho mecânico (GRIZZO; HAGE JÚNIOR; LAURINI, 2011).

O Policloreto de Vinila (PVC) destaca-se como um polímero termoplástico, com uma demanda mundial em resina superior aos 35 milhões de toneladas por ano, apresenta grande potencial em função da versatilidade exposta nos diversos tipos de processos de transformação, observe a Fig.1, sendo a indústria calçadista um local de emprego amplo, como uma excelente opção para a confecção de solados e outros componentes (insertos, palmilhas e cabedais) expandidos ou compactos, com os quais podem ser produzidas tanto sandálias inteiramente moldadas em uma única etapa, quanto calçados mais sofisticados, nos quais acabamentos elaborados com transparência ou brilho podem ser dosados mediante a correta formulação do composto a ser injetado (NEVES, 2010).

São crescentes as necessidades ambientais e econômicas em encontrar formas viáveis de se reciclar materiais. Grande parte dos materiais a se reciclar são polímeros. O PVC, em específico, é 100% reciclável, sendo um bom candidato do ponto de vista dos processos de reciclagem mecânica (SANTOS, 2009). Um dos fatores que impactam no aumento da geração de resíduos sólidos é a dificuldade em estabelecer uma relação entre as variáveis do processo e a obtenção de peças injetadas e aprovadas por critérios de qualidade, visto que, em muitos casos não se conhece as propriedades mecânicas dos produtos acabados, pois os resultados dependem de um emaranhado de variáveis, a saber: matéria prima, geometria da peça, máquinas disponíveis, mão de obra, sendo o procedimento desenvolvido de forma praticamente empírica.

Desta maneira, este estudo tem como objetivo compreender parâmetros experimentais do processo de injeção de cabedais monocolors *Summer* em PVC, vide Fig.2, obtidos pelo processo de injeção direta (convencional), com aproveitamento de material reciclado e averiguar sua interferência sob as propriedades mecânicas e aspectos estéticos.

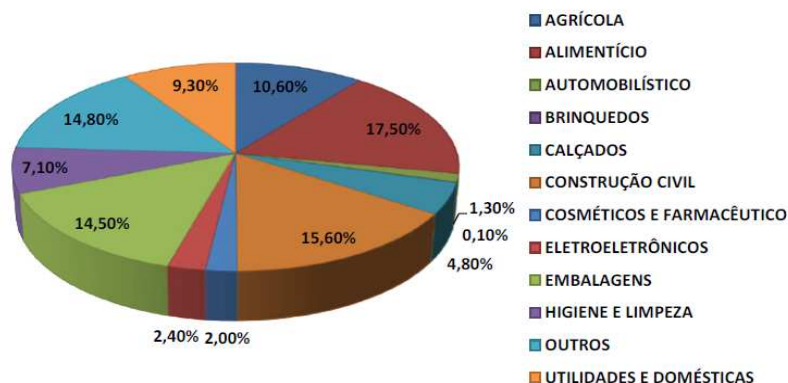


Figura 1. Segmentação do Setor Plástico – Fonte: ABIPLAST.



Figura 2. Sandálias *Kenner* completa com cabedal monocolor *Summer* na cor preta – Fonte: Medeiros (2015).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

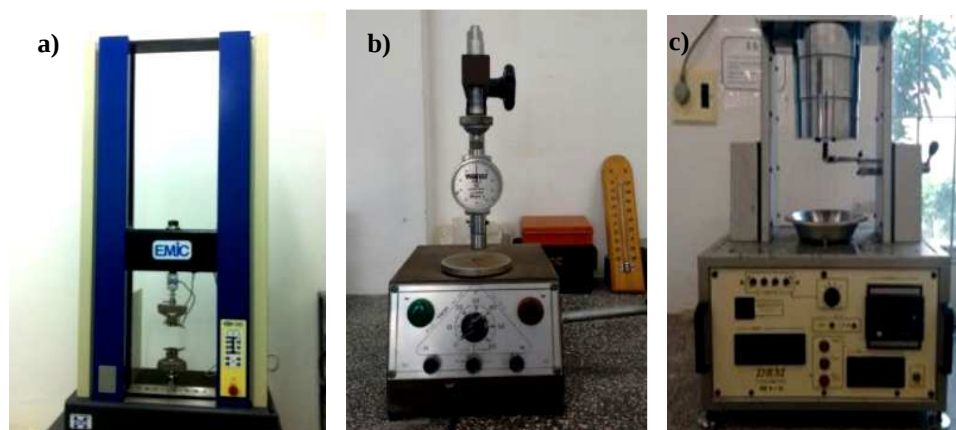
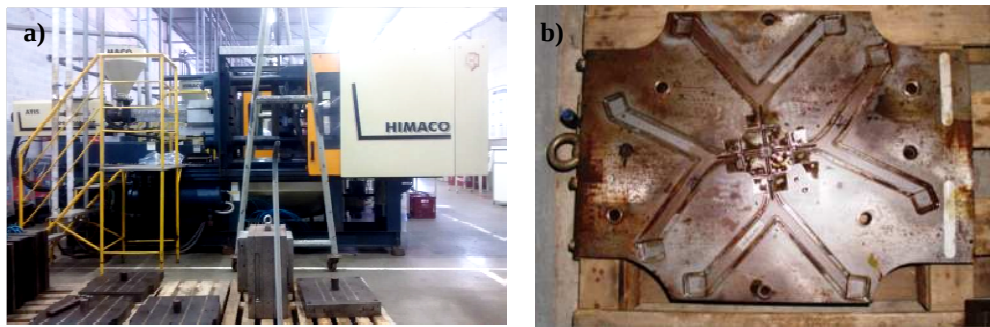
2.1. Materiais

A pesquisa foi desenvolvida majoritariamente na empresa Tess Indústria e Comércio Ltda. – KENNER-PB, que proveu insumos necessários à realização dos experimentos corresponde à importância de R\$ 300.000,00 (trezentos mil reais). Os Corpos de Prova (CP) utilizaram como material de base aos testes experimentais uma matriz PVC ora virgem ora com pigmentos, e material reciclado integralmente moído, observe Fig.3, para a confecção de cabedais e estudo das suas principais propriedades.



Figura 3. Material triturado - galhos, cabedais reprovados e materiais expurgados – Fonte: Medeiros (2015).

O aparato experimental utilizado vem da empresa Tess Indústria e Comércio, assim como de laboratórios pertencentes à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Máquinas em escala industrial, tais como: balança de precisão, misturador do tipo mixer, moinho triturador, injetora horizontal - Fig. 4. a) , matriz de repetição - Fig. 4. b) e unidade refrigeradora compõem equipamentos empregados à fabricação dos cabedais localizados no setor produtivo da correspondente empresa, ademais alguns destes artigos em escala laboratorial também estão presentes dentro dos domínios da UFCG entremeados por máquina universal de ensaios *EMIC DL500* - Fig. 5. a) , durômetro *WOLTEST MP-20* - Fig. 5. b) , DSM plastômero *MI-3*- Fig. 5. c), e microscópio Óptico *LEICA 7500*.



2.2. Método

O método foi concebido, segundo o fluxograma mostrado na Fig. 6. Primeiramente, foi criada uma matriz de planejamento experimental fatorial, vide Tab.1, com foco em avaliar a influência dos parâmetros de injeção para os cabedais *Summer*, sem adição de carga reciclada. Ensaios mecânicos como tração e dureza acompanhada de inspeção visual caracterizam os cabedais, quantitativamente e qualitativamente.

Na segunda etapa, a injeção de cabedais ocorre mediante adição de carga reciclada, variando de 5 a 100 %, nas condições de melhor parametrização apontadas pela etapa anterior. Em seguida, submeter às peças obtidas às mesmas caracterizações da 1ª etapa, e por fim, realizar a comparação entre os resultados obtidos.

Complementarmente foram concretizados testes de MFI (Medidas do Índice de Fluidez) antes da produção das amostras com carga reciclada, a fim de evidenciar os impactos pela perda aditivos no processamento buscando-se a preservação da máquina injetora, observe a Tab.2

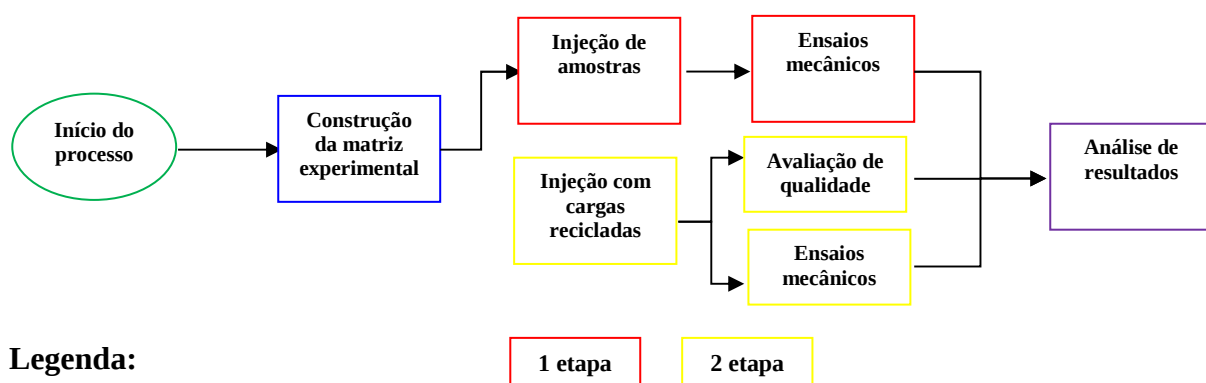


Figura 6. Fluxo das atividades experimentais desenvolvidas: 1 etapa: análise cabedais sem mistura reciclada, 2 etapa: análise dos cabedais com adição de mistura reciclada – Fonte: Medeiros (2015).

Tabela 1. Planejamento experimental 2⁵⁻¹ + 3 no ponto central, com 19 experimentos – Fonte: Medeiros (2015).

Experimento	Variáveis				
	V (RPM)	P(bar)	T(°C)	REC. %	RES (°C)
1	- (0)	- (15)	- (140)	- (0)	+ (30)
2	+ (15)	- (15)	- (140)	- (0)	- (0)
3	- (0)	+ (50)	- (140)	- (0)	- (0)
4	+ (15)	+ (50)	- (140)	- (0)	+ (30)
5	- (0)	- (15)	+ (180)	- (0)	- (0)
6	+ (15)	- (15)	+ (180)	- (0)	+ (30)
7	- (0)	+ (50)	+ (180)	- (0)	+ (30)
8	+ (15)	+ (50)	+ (180)	- (0)	- (0)
9	- (0)	- (15)	- (140)	+ (90)	- (0)
10	+ (15)	- (15)	- (140)	+ (90)	+ (30)
11	- (0)	+ (50)	- (140)	+ (90)	+ (30)
12	+ (15)	+ (50)	- (140)	+ (90)	- (0)
13	- (0)	- (15)	+ (180)	+ (90)	+ (30)
14	+ (15)	- (15)	+ (180)	+ (90)	- (0)
15	- (0)	+ (50)	+ (180)	+ (90)	- (0)
16	+ (15)	+ (50)	+ (180)	+ (90)	+ (30)
17	0 (7,5)	0 (32,5)	0 (160)	0 (45)	0 (15)
18	0 (7,5)	0 (32,5)	0 (160)	0 (45)	0 (15)
19	0 (7,5)	0 (32,5)	0 (160)	0 (45)	0 (15)

Legenda: EXP - Experimentos realizados/ V- Velocidade de injeção/ T- Temperatura de injeção/ P- Pressão de injeção/ REC - Recalque/ RES – Resfriamento

Tabela 2. Percentual de mistura utilizada nas receitas para avaliação de fluidez– Fonte: Medeiros (2015).

ENSAIOS																					
Ordem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
PVC (%)	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Moído (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

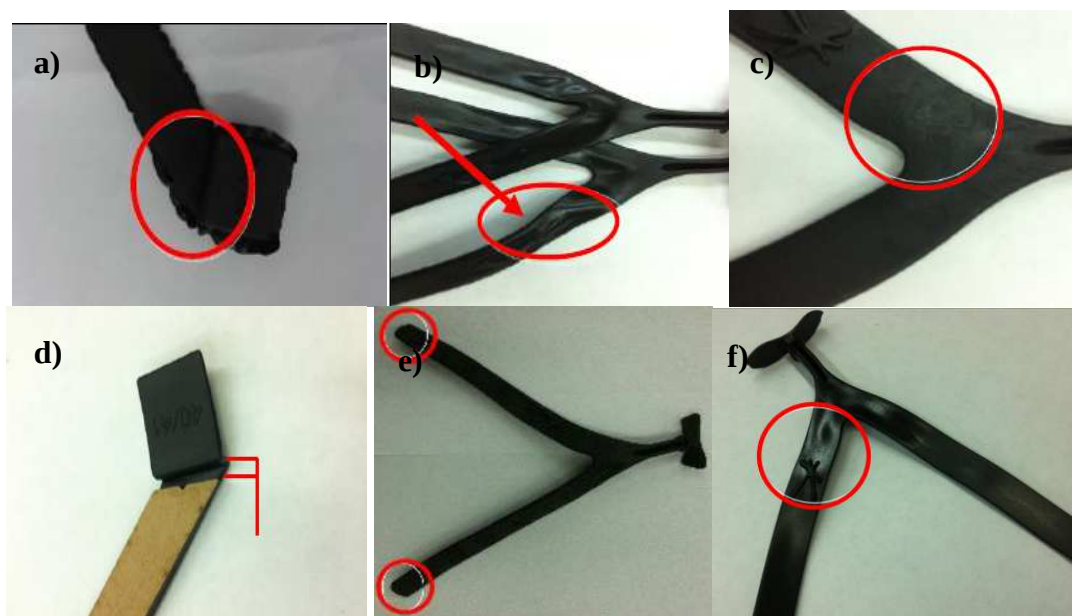
Os resultados obtidos na avaliação dos cabedais, realizadas pelo auditor de qualidade, oriundos do planejamento experimental revelam, Tab.3.

Tabela 3. Esclarecimento com o resultado final dos cabedais injetados da matriz de planejamento experimental – Fonte: Medeiros (2015).

EXP	ASPECTO VISUAL	DIMENSIONAL	PREENCHIMENTO	RESULTADO
1	Manchado	Pequeno	Total	Rejeitado
2	Manchado	Pequeno	Falha nas extremidades	Rejeitado
3	Muito manchado	Pequeno	Falhas de preenchimento	Rejeitado
4	Rechupes/Opaco	Pequeno	Poucas falhas nas pontas	Rejeitado
5	Muito manchado	Pequeno	Falha na dedeira	Rejeitado
6	Rechupes/Manchas	Pequeno	Poucas falhas nas	Rejeitado

			pontas	
7	Manchado	Pequeno	Total	Rejeitado
8	Pouco brilho/ Manchado	Pequeno	Falha nas extremidades	Rejeitado
9	Brilho excessivo/Opaco	Grande	Total	Rejeitado
10	Brilho/fluxo de material nas pontas	Grande	Falha nas extremidades	Rejeitado
11	Brilho excessivo	Grande	Total	Rejeitado
12	Brilho excessivo/deformações	Grande	Total	Rejeitado
13	Brilho excessivo	Grande	Total	Rejeitado
14	Brilho excessivo	Bom	Total	Rejeitado
15	Brilho excessivo/deformações	Grande	Total/falha nas pontas	Rejeitado
16	Rechupes/ brilho excessivo	Bom	Falha nas extremidades	Rejeitado
17	Brilho excessivo	Bom	Total	Rejeitado
18	Brilho	Bom	Total/ falha na extremidade	Rejeitado
19	Pouco Brilho	Bom	Total	Aprovado

Acompanhem nas imagens, ilustrações dos principais defeitos obtidos do ato de injeção, Fig.7.



**Figura 7. Ilustração dos defeitos da injeção executada. a) Cabedal com rebarba, b) Cabedal com rechupe, c) Cabedal manchado, d) Cabedal fora do dimensional, e) Cabedal Incompleto f) Cabedal com excesso de brilho–
Fonte: Medeiros (2015).**

Os resultados alcançados apontam que as e as melhores condições de fabricação são:

- Temperatura baixa (140°C) e temperatura alta (180°C);
- Pressão baixa (15 bar) e pressão alta (50 bar);
- Recalque baixo (0%) e recalque alto (90%);
- Velocidade baixa (0 rpm) e velocidade alta (15 rpm).

3.1. Análise do índice de fluidez (MFI)

Inicialmente, foram realizados com sucesso nas misturas de 5% até 40% de carga reciclada. Após esse percentual, os testes foram suspensos em função de obstrução do orifício de passagem do material. Primeiramente, houve uma obstrução do canal pelo qual o material vaza. Isso ocorreu devido ao aumento da viscosidade, concedida ao

material através da adição da mistura reciclada com carga, sendo percebida a dificuldade de fluir a 160°C. Acompanhe logo abaixo a diferença morfológica dos produtos obtidos, Fig.8.



Figura 8. Resultado das amostras após o MFI – Fonte: Medeiros (2015).

Os resultados obtidos nos ensaios foram:

- a) PVC cristal (dureza 65): 0,1621 g/10 min;
- b) Mistura reciclada – composição (60% de PVC + 40% de carga reciclada): 0,0405 g/10 min;
- c) Mistura reciclada – composição (40% de PVC + 60% de carga reciclada): 0,0324 g/10 min.

3.2. Ensaio de Tração

O ensaio de tração visto em Fig. 9, conduziu aos resultados exibidos na Fig.10 e Fig.11, no qual pode-se ressaltar que não houve alterações significativas no que diz respeito à resistência mecânica das amostras estudadas. Os valores da força última (ruptura) permaneceram dentro de um intervalo que variou de 29,67 a 36,33 N, como explicitado e os deslocamentos sofrida pelas amostras variam de 378,6 a 462,9 mm. Analisando os resultados pode-se inferir que os cabedais injetados apenas com o material virgem, além dos cabedais com o equivalente de 30,50,70 e 100 % de material reciclado acrescido, não exprimem distanciamento em termos de propriedades mecânicas, notadamente resistência mecânica. Os resultados se aplicam a todos os lados dos cabedais (direito e esquerdo), não havendo influência da sua geometria no processo.



Figura 9. Rumo do ensaio de tração – Fonte: Medeiros (2015).

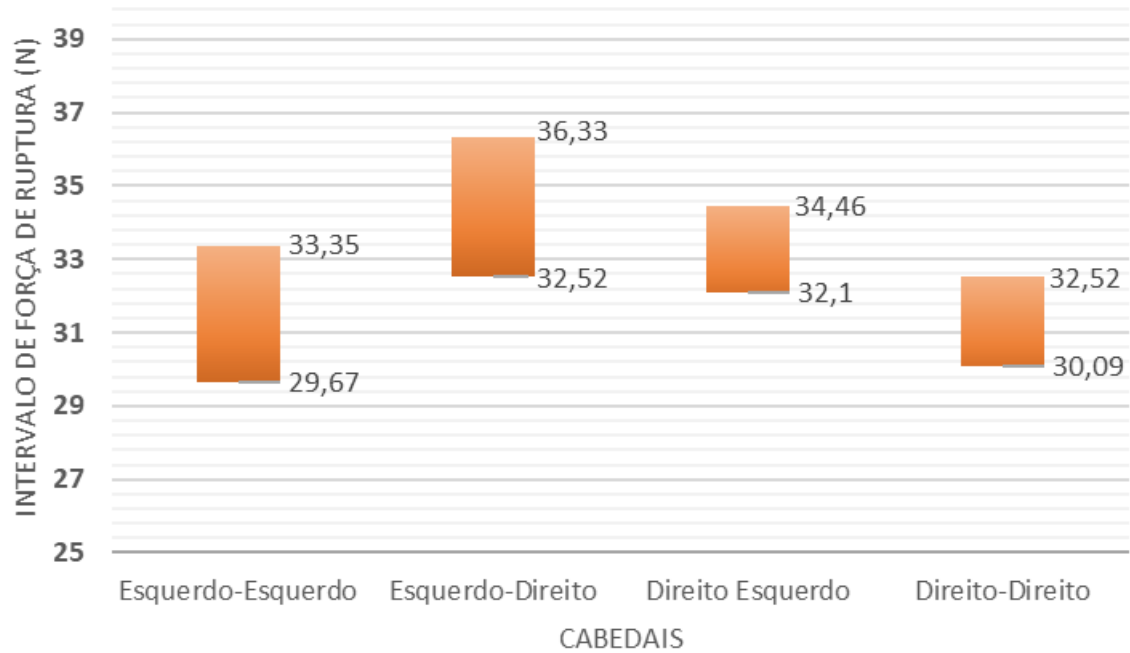


Figura 10. Intervalos arregimentados para as forças de ruptura– Fonte: Medeiros (2015).

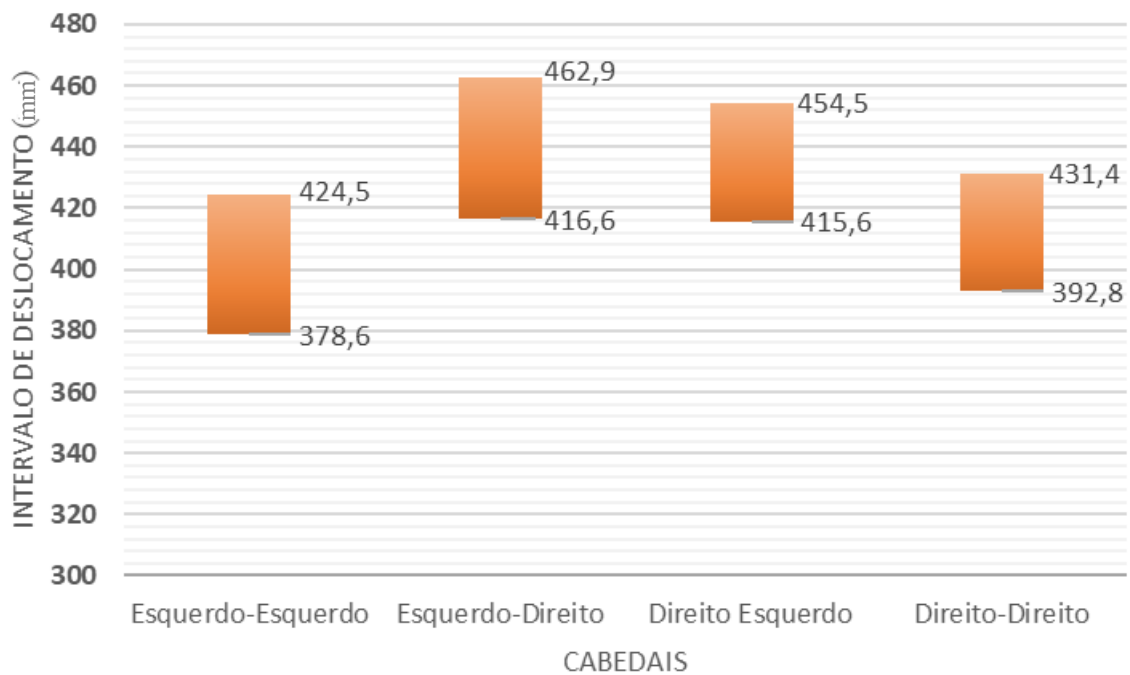


Figura 11. Intervalos auferidos para os deslocamentos – Fonte: Medeiros (2015).

3.3. Ensaio de Dureza Shore A

As médias dos valores de dureza obtidos para 05 pares de cabedais ensaiados, por percentual indicado na Tab.4, reforçam a similaridade das propriedades mecânicas e morfológica, constatadas em experimentos realizados anteriormente. E indicam, sobretudo que os cabedais que tiveram em sua composição percentuais de misturas recicladas não se distanciam mecanicamente dos considerados 100 % virgem.

Tabela 4. Resultados do ensaio de dureza Shore A – Fonte: Medeiros (2015).

AMOSTRA	DUREZA
Cabedal PVC virgem	71
Cabedal 30% moído	70,5
Cabedal 50% moído	70
Cabedal 70% moído	70
Cabedal 100% moído	71

4. CONCLUSÃO

Com base nos ensaios de análise realizados em ambiente laboratorial envolvendo o material polimérico, e avaliando variáveis de natureza mecânica e morfológica concluem-se que:

- Os ensaios de tração realizados com as diversas composições mostraram que não existem diferenças significativas nas propriedades mecânicas das peças produzidas com material virgem e as obtidas com até 100% de mistura reciclada (1º ciclo);
- As imagens obtidas por meio de microscopia ótica e o ensaio de dureza comprovaram que o produto não sofre alterações que mudem a condição de conforto ao serem produzidos em escala industrial;
- Foi possível reduzir os custos de produção por meio da incorporação de material reciclado (PVC – 1º ciclo de reprocessamento), por meio do processo de moagem, mantendo o mesmo nível de qualidade e sem alterações significativas das propriedades mecânicas.
- Após a validação do estudo, e a incorporação de carga reciclada à fabricação de novos produtos, estima-se que a contribuição econômica seja de R\$ 400.000,00/ano.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Tess Indústria e Comércio Ltda. – KENNER-PB pela proposição. Ao problema de Engenharia e assistência a realização do presente intento. Os autores agradecem a Universidade Federal de Campina Grande – DEM/DEMA pelo apoio e espaço físico.

6. REFERÊNCIAS

- Grizzo, L. H.; Hage, E. H.; Jr., Laurini, R. V. “Desenvolvimento de PVC reforçado com fibras de vidro longas para fabricação de produtos moldados”. Polímeros: Ciência e Tecnologia. p.369-375. 2011.
- Medeiros, A.S. “Otimização do processo de injeção de cabedais monocores em Policloreto de Vinila (PVC). Estudo de caso: A indústria calçadista”. Campina Grande, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande.
- Neves, J.J.G. “A utilização de materiais plásticos na indústria de calçados femininos no Brasil e sua aceitação”. 2010. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Produção de Plásticos). Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo.
- Nunes, L.R.; Rodolfo, A. Jr.; Ormanji, W, “Tecnologia do PVC”. São Paulo: ProEditores/ Braskem, 2002.
- Santos, H.M.A. “Reciclagem química do PVC: aplicação do PVC parcialmente desidroclorado para a produção de um trocador iônico”. Uberlândia, 2009. Dissertação (Mestrado em Química). Programa de Pós-Graduação do Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

OPTIMIZATION OF INJECTION PROCESS OF MONOCOLORS LEATHER IN PVC

Felipe Silva Lima, felipe05silva06@gmail.com.br ¹

Alexsander de Sousa Medeiros, asmedeiros@gmail.com¹

Julliene Martins, jullieny@hotmail.com¹

Walman Benicio de Castro, walman.castro@ufcg.edu.br²

Wanderley Ferreira de Amorim Júnior, engenhariabrasileira@gmail.com ²

¹Federal University of Campina Grande - UFCG, Post-Graduation Program in Mechanical Engineering

²Federal University of Campina Grande – UFCG, Center for Science and Technology - CCT, Academic Unit of Mechanical Engineering - UAEM.

Abstract. *The growth of industry, it increases the amount of organic and inorganic waste in society, so the improvement of manufacturing processes, conglomerating environmental and budgetary issues, dictate the pace of the future for such sector. Particularly in the footwear industry, the increase in the consumption of polyvinyl chloride (PVC) is identified, together with the concern, above all with the generation of solid waste from the injection of single-colored leather. In this way, this article presents the evaluation of experimental parameters and their interference under the injection process of PVC monocolors, which base the quality of the product (sandals), fitting to the study fractions of recycled mixtures, in order to verify their mechanical performance. In order to reach this objective, it was first held conferences with the company's management in order to design timely intervention strategies, then, following a methodological flow, the elaboration of experimental planning matrices was carried out, in order to optimize the execution of mechanical tests of traction and hardness, in addition to visual inspection, supported by resources present at Tess Indústria e Comércio Ltda. - KENNER-PB and UFCG. The tests carried out indicated that the mechanical properties were little affected by the addition of recycled material, being possible to produce on an industrial scale monochromatic leather (black), using reprocessed material (1 cycle), without significant change in mechanical, visual and comfort properties.*

Keywords: *Leather, PVC, Injection, Experimental Parameters*