

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE
PEAD COM ADIÇÃO DE SERRAGEM E CELULOSE
MICROCRISTALINA PARA CONFECÇÃO DE CAPACETE
DE SEGURANÇA PARA USO OCUPACIONAL**

Rogério Nogueira Pereira

ORIENTADOR: PROF. DR. BRUNO CHABOLI GAMBARATO

INTRODUÇÃO

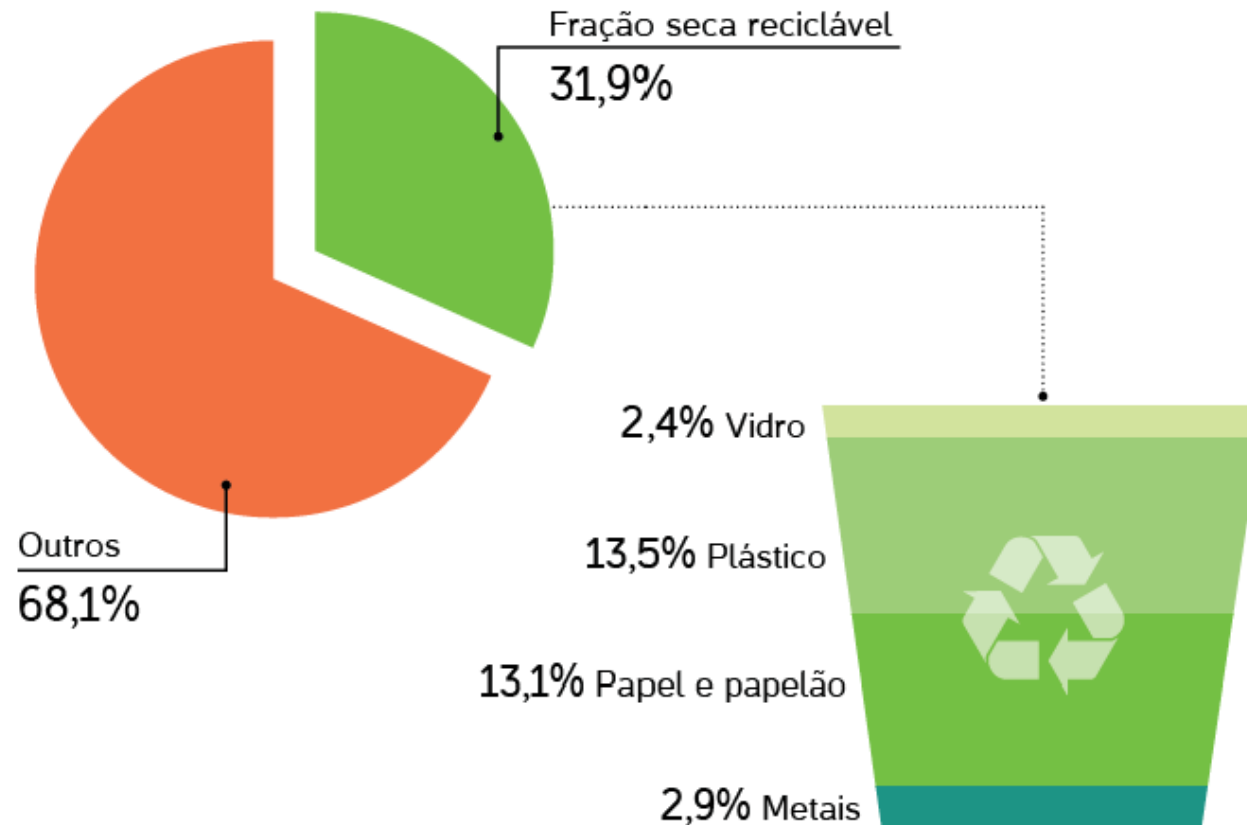
Custos dos acidentes:

- 2,8 trilhões de dólares anuais.

Quantidade de acidentes no Brasil:

- Aproximadamente 700 mil anuais.

INTRODUÇÃO



Composição de resíduos gerados no Brasil

Fonte: CEMPRE, 2018

OBJETIVO

- Produzir e caracterizar um compósito com matriz de PEAD, reforçado com serragem de madeira *Pinus taeda* e celulose microcristalina.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- Definição de Segurança do Trabalho.
- O que é acidente do trabalho?
- Como prevenir ocorrências?

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

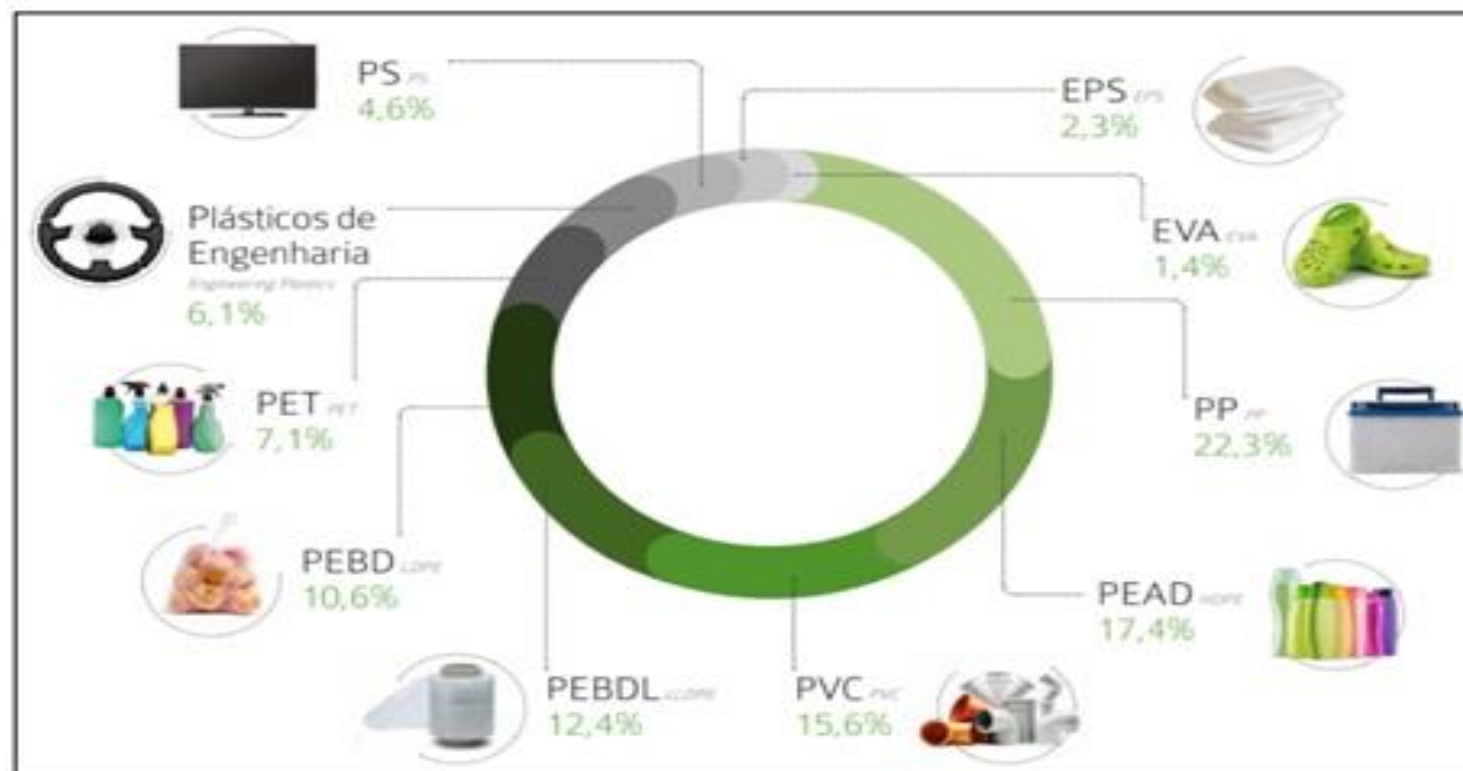
- Norma Regulamentadora 06.
- NBR 8221:2019.



Modelo de capacete ocupacional

Fonte: 3M, 2020

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA



Polímeros mais utilizados no Brasil

Fonte: ABIPLAST, 2016.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- **PEAD (POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE)**
- Tem como principais características alta resistência a compressão, tração, temperatura e ao impacto.
- A utilização deste material é sem precedente e em praticamente todas as áreas de consumo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Composições das amostras avaliadas no trabalho.

Amostra	% PEAD (P)	% Serragem (S)	% Celulose Microcristalina (C)
Capacete	100*	0	0
P ₁₀₀	100	0	0
P ₉₀ C ₁₀	90	0	10
P ₈₅ C ₁₅	85	0	15
P ₈₀ S ₁₀ C ₁₀	80	10	10
P ₇₅ S ₁₅ C ₁₀	75	15	10
P ₇₅ S ₁₀ C ₁₅	75	10	15
P ₇₀ S ₁₅ C ₁₅	70	15	15

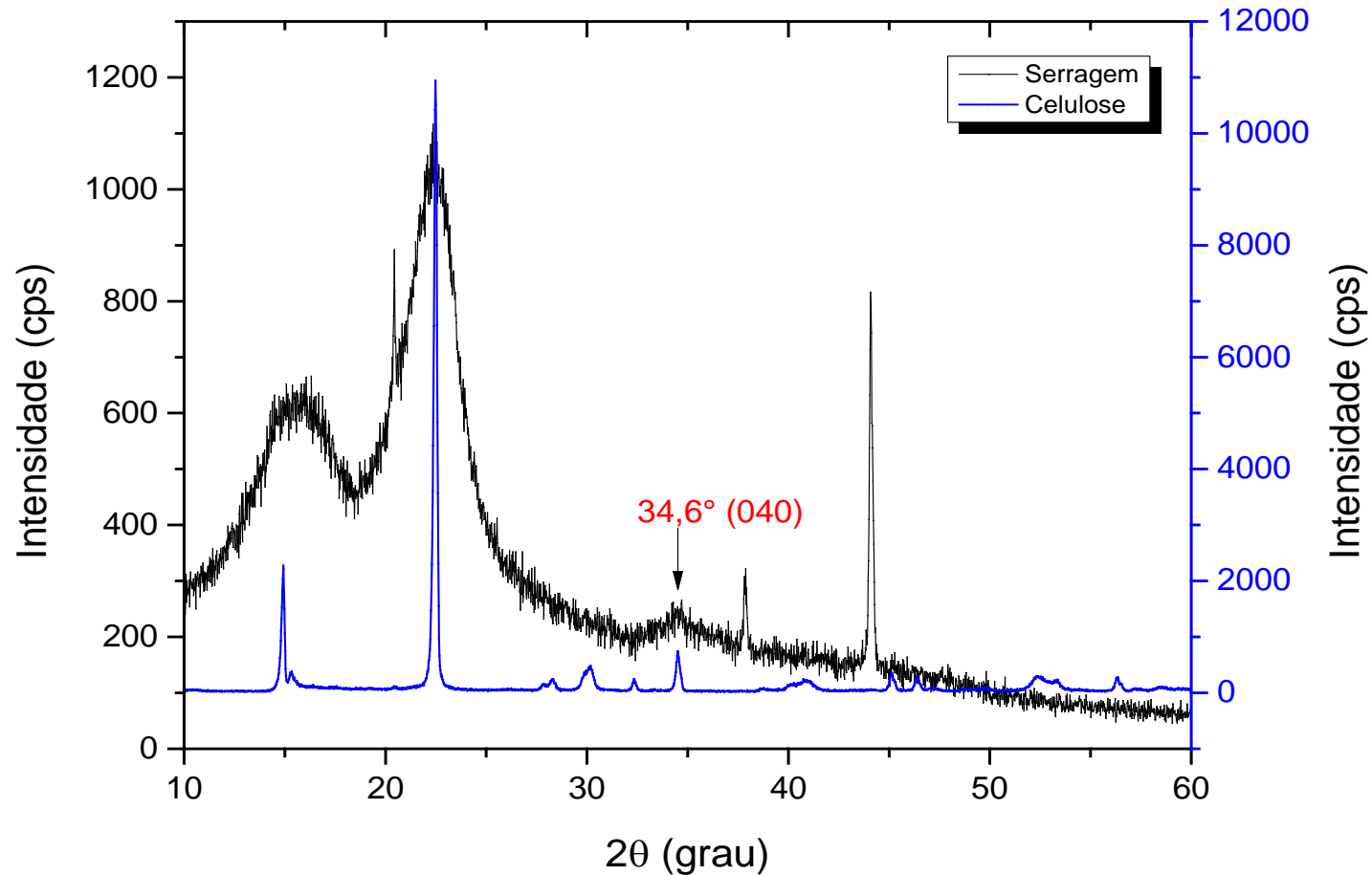
*material obtido a partir da trituração do capacete

Fonte: Do autor, 2021.

MATERIAIS E MÉTODOS

- Difractometria de Raio X.
- Ensaio de resistência a tração.
- Ensaio de resistência a flexão.
- Dureza Shore D.
- MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura).

RESULTADOS E DISCUSSÃO



Serragem: 41,8 % de cristalinidade.
Celulose: 79,8 % de cristalinidade.

Difratogramas de Raios X sobrepostos

Fonte: Do autor, 2021.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Ensaio de resistência a tração.
- Valor da resistência a tração do capacete analisado:
 - 21,4 MPa.
- Módulo de Young do capacete analisado:
 - 176,1 MPa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados do Ensaio de Tração

Amostra	Tensão de Escoamento. (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Young (MPa)
Capacete	11,9 ± 0,30	21,4 ± 0,53	176 ± 42,11
P ₁₀₀	12,0 ± 0,15	19,0 ± 0,98	150 ± 52,83
P ₉₀ C ₁₀	14,3 ± 1,21	22,7 ± 0,75	256 ± 72,39
P ₈₅ C ₁₅	16,0 ± 0,18	23,0 ± 0,32	281 ± 37,42
P ₈₀ S ₁₀ C ₁₀	16,0 ± 0,84	22,7 ± 0,29	287 ± 21,61
P ₇₅ S ₁₅ C ₁₀	16,3 ± 0,96	23,3 ± 0,56	307 ± 48,70
P ₇₅ S ₁₀ C ₁₅	15,3 ± 0,33	22,0 ± 0,64	317 ± 28,51
P ₇₀ S ₁₅ C ₁₅	18,0 ± 0,27	24,3 ± 0,55	341 ± 31,92

Fonte: Do autor, 2021.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Aumento médio de 13,50% na resistência a tração.
- Módulo de Young: aumento de 94,00%.
- Compósito P70 S15 C15 com o melhor desempenho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Ensaio de resistência a flexão.
- Valor da resistência a flexão do capacete analisado:
 - 30,05 MPa.
- Módulo de elasticidade a flexão:
 - 1.151,0 MPa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados do Ensaio de Flexão

Amostra	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Flexão (MPa)
Capacete	$30,5 \pm 3,83$	$1151 \pm 39,40$
P ₁₀₀	$25,2 \pm 3,83$	$838 \pm 37,22$
P ₉₀ C ₁₀	$32,2 \pm 1,24$	$1344 \pm 11,78$
P ₈₅ C ₁₅	$33,4 \pm 3,71$	$1536 \pm 21,04$
P ₈₀ S ₁₀ C ₁₀	$36,4 \pm 1,19$	$1570 \pm 12,37$
P ₇₅ S ₁₅ C ₁₀	$37,9 \pm 1,25$	$1562 \pm 20,51$
P ₇₅ S ₁₀ C ₁₅	$35,0 \pm 2,03$	$1581 \pm 39,24$
P ₇₀ S ₁₅ C ₁₅	$38,0 \pm 0,72$	$2005 \pm 25,33$

Fonte: Do autor, 2021.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Aumento médio de 24,60% na resistência a flexão.
- Módulo de elasticidade a flexão: aumento de 74,20%.
- Compósito P70 S15 C15 com o melhor desempenho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Dureza Shore D.

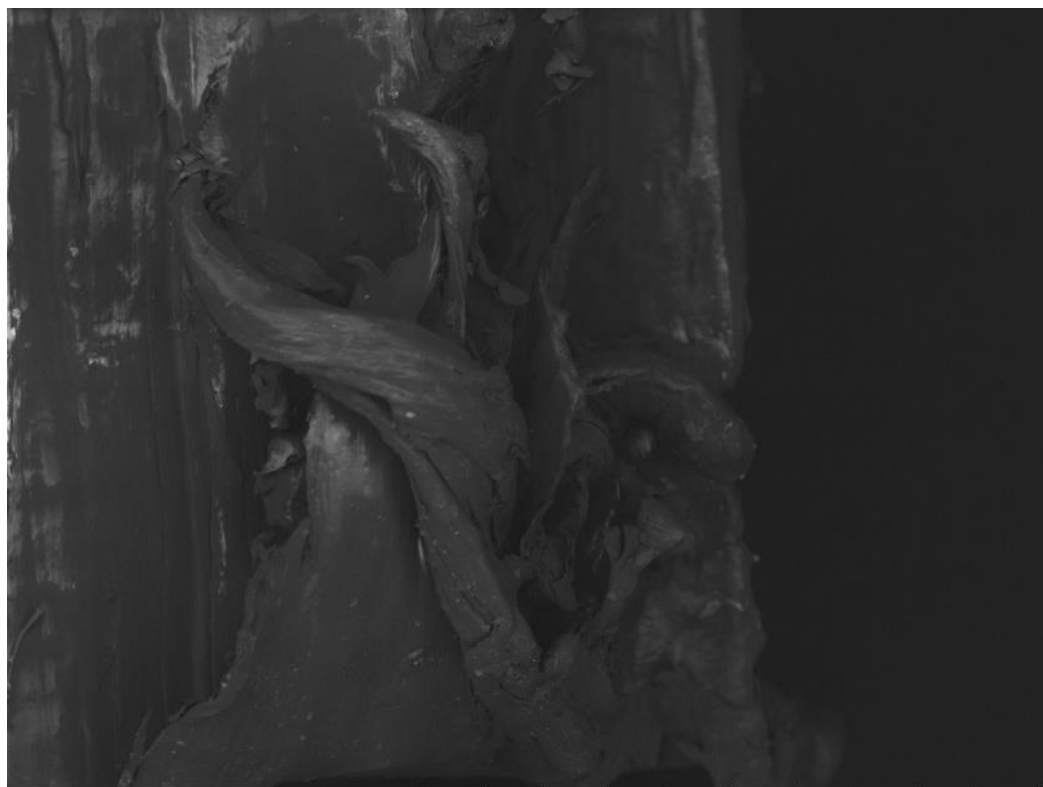
Valores de Dureza Shore D (HD) encontrados para os materiais analisados

PEAD	Compósito P ₈₀ S ₁₀ C ₁₀	Compósito P ₇₀ S ₁₅ C ₁₅
62,7	65,5	61,4
60,6	64,3	59,9
61,4	62,7	61,4
63,5	62,5	59,7
62,7	60,8	59,1
62,18 ± 1,16 HD	63,16 ± 1,80 HD	60,3 ± 1,04 HD

Fonte: Do autor, 2021.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- MEV.



PEAD PURO 2021/04/28 F D6.7 x50 2 mm

MEV capacete X50

Fonte: Do autor, 2021.



75%15%15% 2021/04/28 F D4.9 x200 500 um

MEV compósito P70 S15 C15 X200

Fonte: Do autor, 2021.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fator	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F calculado	valor-p
Serragem (Linear)	36,76	1	36,76	0,09091	0,767169
Serragem (Quadrático)	15309,00	1	37,86203	37,86203	0,000018
Celulose (Linear)	349,75	1	0,86499	0,86499	0,367073
Celulose (Quadrático)	5130,26	1	12,68810	12,68810	0,002838
Serragem x Celulose (L²)	8046,73	1	19,90107	19,90107	0,000457
Resíduo	6065,05	15	0,32		
Total	70763,24	20			

Análise de variância (ANOVA) dos fatores estudados sobre o Módulo de Young.
 $R^2 = 0,999$

Fonte: Do autor, 2021.

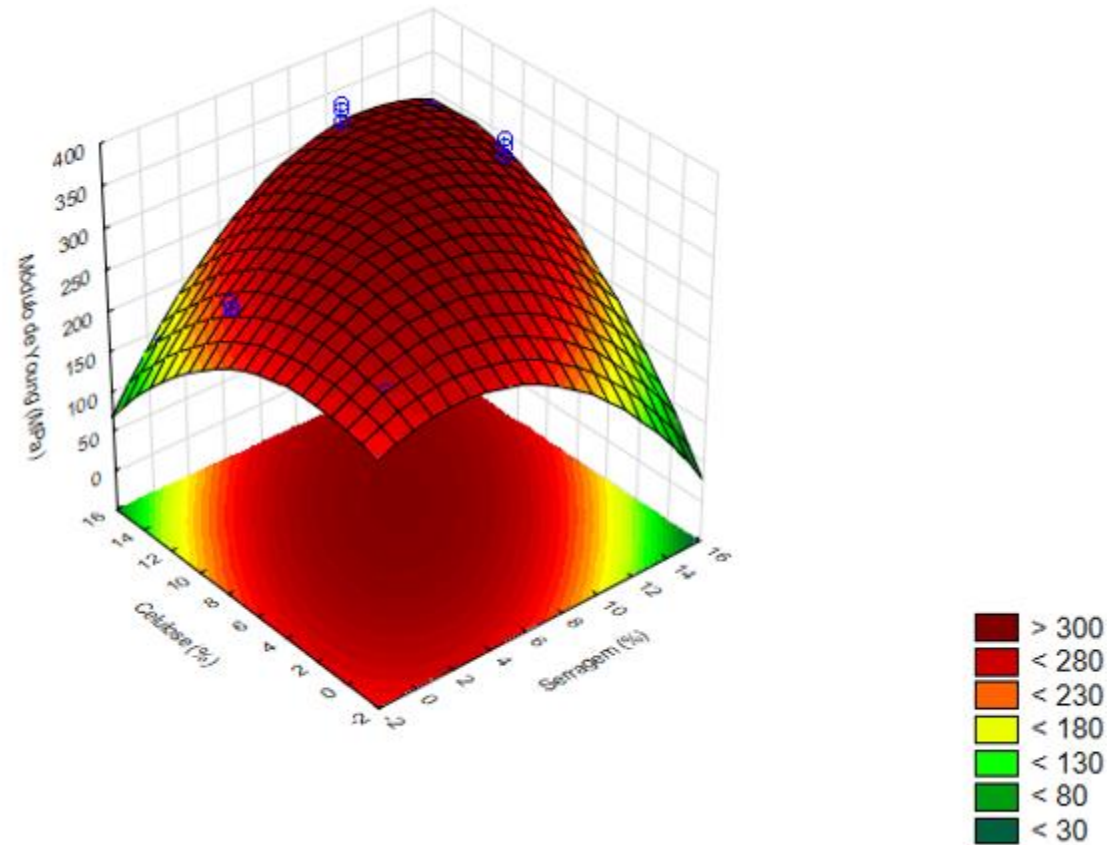
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fator	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F calculado	valor-p
Serragem (Linear)	16727	1	16727,3	0,38914	0,542122
Serragem (Quadrático)	572284	1	572284,5	13,31350	0,002376
Celulose (Linear)	42541	1	42540,6	0,98966	0,335605
Celulose (Quadrático)	58248	1	58248,3	1,35508	0,262575
Serragem x Celulose (L²)	318480	1	318480,4	7,40905	0,015749
Resíduo	644779	15	042985,3		
Total	2513669	20			

Análise de variância (ANOVA) dos fatores estudados sobre o Módulo de Flexão.
 $R^2 = 0,999$

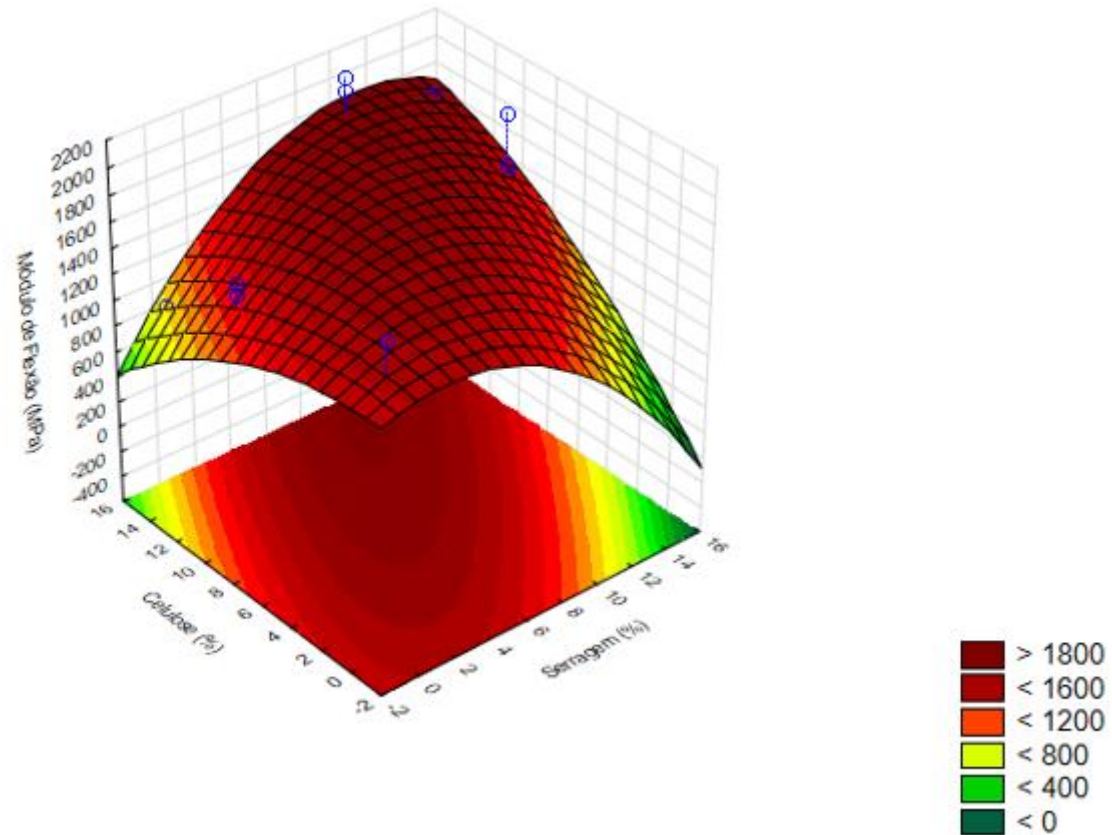
Fonte: Do autor, 2021.

RESULTADOS E DISCUSSÃO



Superfície de Resposta para os fatores celulose (%) e serragem (%) sobre o Módulo de Young (MPa)

RESULTADOS E DISCUSSÃO



Superfície de Resposta para os fatores celulose (%) e serragem (%) sobre o Módulo de Flexão (MPa)

- Neste trabalho foram produzidos compósitos de PEAD com adição de serragem e celulose microcristalina que apresentaram, além de um teor menor de derivados de petróleo, propriedades mecânicas superiores às do material obtido a partir da trituração de um capacete de segurança. Tais resultados sugerem que é possível, portanto, produzir um capacete utilizando os compósitos produzidos neste trabalho.

TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar outras propriedades mecânicas e físico-químicas dos compósitos e compará-las com materiais utilizados na confecção de capacetes;
- Realizar teste de impacto nestes compósitos que foram utilizados neste trabalho para a avaliação desta grandeza;
- Otimizar a composição utilizando um modelo matemático obtido a partir da influência quadrática do teor de celulose sobre o módulo de Young;
- Aplicar o compósito produzido neste trabalho na confecção de capacetes de segurança;
- Realizar estudos que possam avaliar a interação entre as fases do compósito.

- **ABIMÓVEL. Perfil da indústria moveleira. Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário.** Disponível em: <http://www.sindimol.com.br/o-setor/>>. Acesso em: 8 maio. 2020, (2015).
- **AKCELRUD, L. Fundamentos da Ciência dos Polímeros.** Editora Manole Ltda, São Paulo, 2007.
- **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D3878-2016:** Standard Terminology for Composite Materials. Philadelphia, 2016.
- **_____.** **D883-99:** Terminology Relating to Plastics. Philadelphia, 1999.
- **ARRUDA, M. B. R. Segurança do trabalho versus trabalho em segurança: um panorama sobre os confrontos administrativos e normas correlatas.** Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013.