

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO BAIXO TOCANTINS
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL

DEISYLENE DO SOCORRO NEGRÃO CARDOSO

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL BALÍSTICO BASEADO EM
POLIESTIRENO E BIOMASSA PÓS CONSUMO**

Abaetetuba-PA

2015

DEISYLENE DO SOCORRO NEGRÃO CARDOSO

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL BALÍSTICO BASEADO EM
POLIESTIRENO E BIOMASSA PÓS CONSUMO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Pará, *Campus* Universitário do Baixo Tocantins, como requisito final para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Industrial, sob orientação do Prof. Dr. Marcos Allan Leite dos Reis.

Abaetetuba-PA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C268d Cardoso, Deisylyene do Socorro Negrão.
 DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL BALÍSTICO
 BASEADO EM POLIESTIRENO E BIOMASSA PÓS
 CONSUMO / Deisylyene do Socorro Negrão Cardoso. — 2015.
 59 f. : il. color.

 Orientador(a): Prof. Dr. Marcos Allan Leite dos Reis
 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
 Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba, Curso de
 Engenharia Industrial, Abaetetuba, 2015.

 1. Poliestireno. 2. Carço de Açaí. 3. Material balístico. I.
 Título.

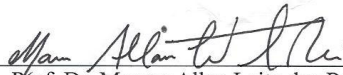
CDD 620

DEISYLENE DO SOCORRO NEGRÃO CARDOSO

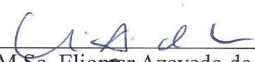
**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL BALÍSTICO BASEADO EM
POLIESTIRENO E BIOMASSA PÓS CONSUMO**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado e aprovado, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial pelo corpo docente da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Baixo Tocantins.

Abaetetuba, 05 de novembro de 2015.



Prof. Dr. Marcos Allan Leite dos Reis.
UFPA
Orientador



Prof. M.Sc. Elionor Azevedo do Carmo.
UFPA



Prof. Dr. Adalberto da Cruz Lima.
UFPA

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho à
minha mãe, Marlene. À ela
minha eterna gratidão,
saudades!*

AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida e oportunidade de crescer com saúde e esperança de dias melhores.

À minha mãe que é a responsável pela educação e empenho nas horas de estudo por acreditar que só assim eu venceria na vida alcançando até mesmo os sonhos impossíveis, porque acreditava em mim.

Minha família que é a base para eu conseguir tudo o que eu propusesse nos meus ideais, me apoiando e incentivando o meu crescimento. Meu pai Pedro, meus irmãos Marcos, Anselmo, Franciel e Dulcilene, obrigada a todos pelo amor e confiança a mim depositada.

Ao meu namorado Rodrigo, pelo carinho e apoio nos momentos difíceis, pela paciência e confiança.

Ao meu orientador Dr. Marcos Allan Leite dos Reis, pela ajuda essencial na realização deste trabalho, apoio, sabedoria, paciência, parceria, estímulo e dedicação.

À UFPA — Universidade Federal do Pará e ao seu corpo docente, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao pessoal dos laboratórios de Física e Química que todas as vezes que precisei as portas se abriram para a realização deste trabalho.

À minha turma de engenharia industrial 2010 que durante esses cinco anos de estudo me deram a oportunidade não somente de realizar um sonho com a conquista de um diploma universitário, mas também com a feliz oportunidade de conhecer pessoas essenciais para a minha vida e que fizeram e faz os meus dias mais felizes, em especial meus queridos amigos; Amanda, Ednaldo; Laenna; Lorrany; Vanessa e Yara. Ao meu também querido amigo Althobele, obrigada por vocês fazerem parte da minha vida.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para concretização realização deste trabalho.

*“Se não puder voar, corra. Se não puder correr,
ande. Se não puder andar, rasteje, mas
continue em frente de qualquer jeito”.*

Martin Luther King.

RESUMO

A busca por materiais cada vez mais resistentes que proporcione mais segurança, juntamente com o desenvolvimento sustentável tem ganhado importância, visto que o seu desenvolvimento está ligado diretamente com a solução dos problemas ambientais. Nesse sentido, a utilização de matéria prima reciclada é essencial para minimizar o custo da produção. Pensando nisso e na problemática da destinação dos resíduos do Isopor® que são constituídos por Poliestireno Expandido – EPS, bem como os resíduos resultantes do processo de beneficiamento do Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), foi desenvolvido um material balístico contribuindo para a redução dos impactos ambientais advindos da destinação inadequada. Assim, observou-se o grande potencial na reciclagem desse polímero combinado com a cinza do caroço de Açaí, como opção de reforço da matriz polimérica do material balístico. As placas balísticas de EPS + 7% de cinza de Açaí foram confeccionadas com dois tipos diferentes de espessura de 2,5 – 5,0 cm e com o intuito de avaliar suas propriedades balísticas, todas as placas foram testadas com os armamentos: Rifle CZ 452LKM; Pistola IMBEL 380, Revólver cano curto 0,38" e o Fuzil MD97, com os seguintes projéteis de calibres: 0,22", 0,38", 0,380" e 0,223". Os melhores desempenhos foram os de placas balísticas conjugadas de 7,5 cm para posição frontal e 12cm para posição lateral de penetração dos projéteis, exceto para o calibre 0,223" que atravessou todas as placas, mas sofreu desvios em núcleos duros do compósito. Este resultado permitiu a viabilidade da aplicação desejada do material balístico para armamentos leves Nível II.

Palavras-chave: Poliestireno, Caroço de Açaí, Material balístico.

ABSTRACT

The search for increasingly resistant materials to provide more security along with sustainable development has gained importance because its development is linked directly to the solution of environmental problems and public safety. Accordingly, the use of recycled raw materials is essential to minimize the cost of production. Thinking about it and the problem of disposal of waste Isopor® which consist of Expanded Polystyrene - EPS, as well as residues from the Acai beneficiation process (.Euterpeoleraea Mart), it developed a ballistic materials helping to reduce the impact environment arising from inadequate disposal. So there was great potential in recycling this combined polymer with gray acai seed, to reinforce the polymer matrix option ballistic materials Ballistic plates EPS + 7% acai ash were made with two different types of thickness of 2.5 - 5.0 cm and with the aim of assessing their ballistic properties, all plates were tested for arms: Rifle CZ 452LKM; IMBEL 380 pistol, revolver barrel short 0,38" and Rifle MD97, with the following calibers of projectiles: 0,22", 0,38", 0,380" and 0,223". The best performances were conjugated ballistic plates of 7.5 cm to 12 cm and the front position to the lateral position of penetration of projectiles, except that the gauge 0,223" across all plates, but suffered deviations in hard composite cores. This result allowed the feasibility of the intended application of the ballistic material for light weapons Level II.

Keywords: Polystyrene.Coreacai.Ballisticmaterial.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Armadura de corpo inteiro.	20
Figura 2 - Tramas de fios que compõem o tecido entre camadas de filme plástico.....	22
Figura 3 - Colete balístico Nível II, modelo dissimulado.....	23
Figura 4 - Fibras de Kevlar costuradas formando a placa balística.....	25
Figura 5- Sistema de dissipação de energia nas camadas de material balístico.	27
Figura 6 - Polimerização de adição do ácido tereftálico.	28
Figura 7 - Camadas rígidas de Kevlar resistentes a altíssimos impactos.	28
Figura 8 – Seção individual da cadeia Kevlar®.	29
Figura 9 - Kevlar fiado formando pontes de hidrogênio, aumentando a força tensora.	30
Figura 10 – Tecido da fibra de polietileno Spectra Shield.	31
Figura 11 - União de fibras de aramida com revestimento de polietileno.....	32
Figura 12 - Descarte do EPS pós consumo em lugares impróprios, aumentando a poluição. .	34
Figura 13 - Obtenção do poliestireno a partir do petróleo.....	35
Figura 14 – Estrutura do poliestireno expandido: (a) nível macroscópico; (b) nível Microscópico.	35
Figura 15 - Fruto do Açaí.	36
Figura 16 - Molde para o corpo de prova.	39
Figura 17 - Fluxograma do processo de obtenção do material balístico.	40
Figura 18 - Material resultante do processamento do EPS com a cinza do açaí.	42
Figura 19 - Placas Balísticas finalizadas.	42
Figura 20 - Munição utilizada no ensaio (0,22" CBC).....	43
Figura 21 - Munição utilizada no ensaio 0,38" OCA (Expansivo Ponta Oca).....	43
Figura 22 - Munição utilizada no ensaio (0,380").....	43
Figura 23 – Munição utilizada no ensaio (0,223") de alto impacto.....	44
Figura 24 - Placa balística posicionada a distância de 6 m do atirador.	45
Figura 25 - Impacto de entrada perfurante em placa simples com calibre 0,22"	47
Figura 26 – Impacto de saída perfurante em placa simples com calibre .22".	47
Figura 27 - Impactos perfurantes de entrada calibres 0,38" e 0,380".....	48
Figura 28 – Impactos perfurantes de saída calibres 0,38" e 0,380".....	48
Figura 29 – Montagem da placa de 5 cm com a 2,5 cm, formando uma placa de 7,5 cm.	49
Figura 30 – Perfuração da placa de 5 cm e retenção do projétil 0,38" no início da placa de 2,5 cm.	49
Figura 31 – Projétil 0,38" alojado na segunda placa.	49

Figura 32 – Desmontagem da placa para mostrar o projétil 0,38 oca alojado no compósito...	50
Figura 33 – Impacto de entrada não perfurante, calibre 0,22”.	50
Figura 34 - Penetração do projétil calibre 0,22” entre 10 e 11 cm.	51
Figura 35 – Detalhe ampliado da zona e deformação do projétil calibre 0,22”.	51
Figura 36 – Impacto não perfurante, calibre 0,380”.....	52
Figura 37 – Projéteis retidos pelas placas balísticas.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrão NIJ-0108.01 para materiais resistentes a projéteis.	46
Tabela 2 - Resultados do Ensaio Balístico.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBC	Confederação Brasileira de Clubes
CFC	Clorofluorcarboneto
CP	Corpo de Prova
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EPS	Poliestireno Expandido
EUA	Estados Unidos da América
NBR	Norma Brasileira
NIJ	NationalInstituteof Justice
PC	Perfuração Completa
PP	Perfuração Parcial
SENASP	Secretaria Nacional de Segurança Pública
VIP	VeryImortant Person

LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA

Cm	Centímetro
Cm^3	Centímetro Cúbico
mm	Milímetro
m	Metro
MPa	Mega pascal
Min	Minuto
°C	Graus Celcius
g	Grama
GPa	Giga Pascal
h	Hora
J	Joule
m^2	Metro Quadrado
δ_E	Espessura da Placa Balística
δ_P	Penetração da Bala no Interior da Placa Balística
Tg	Temperatura de Transição Vítrea
Tm	Temperatura de Fusão
V	Volume

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
JUSTIFICATIVA.....	17
OBJETIVOS	18
Objetivo Geral	18
Objetivos Específicos.....	18
ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
 CAPÍTULO 1.....	 20
1. MATERIAIS BALÍSTICOS.....	20
1.1 CONTEXTO HISTÓRICO EVOLUÇÃO DA DEFESA PESSOAL	20
1.1.1 Quanto à sobrevivência.....	20
1.1.2 Equipamentos de proteção	22
1.2 DESENVOLVIMENTO DOS PAINÉIS BALÍSTICOS	24
1.3 COMO SURTIU O KEVLAR®?	26
1.3.1 O que é o Kevlar®?	26
1.3.2 Estrutura Molecular do Kevlar®	29
1.4 FIBRA SPECTRA SHIELD® OU SPECTRA FLEX®	31
1.5 FIBRA DYNEEMA	32
1.6 FIBRA GOLD FLEX®	32
 CAPÍTULO 2.....	 33
2. MATERIAIS E METODOLOGIA.....	33
2.1 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS).....	33
2.1.1 Reciclagem do EPS.....	35
2.2 SEMENTES DE AÇAÍ (<i>EUTERPE OLERACEA</i> MART).....	36
2.2.1 Lignina	38
2.3 MOLDE PARA OS CORPOS DE PROVA.....	38
2.4 ACETONA COMO SOLVENTE.	39
2.5 METODOLOGIA	39
2.5.1 Processamento para obtenção do material balístico	40
2.6 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	41
2.7 ARMAMENTOS UTILIZADOS.....	42
2.7.1 Projéteis utilizados	43
2.8 ENSAIO BALÍSTICO	44

2.8.1 Quanto a norma dos níveis de proteção balística	45
CAPITULO 3.....	47
3. RESULTADOS DO ENSAIO BALÍSTICO	47
3.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	53
CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	54
REFERÊNCIAS	55

INTRODUÇÃO

Foi na segunda guerra mundial que o desenvolvimento de materiais balísticos teve seu início e logo disseminou pelo mundo inteiro, instrumento essencial para a proteção de milhões de trabalhadores que lidam com o risco de ferimentos a bala e eventual morte. Dados da Secretaria Nacional de Segurança Pública (SENASP) referente ao período de 2003 – 2005 mostram que no Brasil houve um crescimento de 30,7 % na taxa de ocorrência criminal, e, entre os agentes de polícia, a Polícia Militar é a que mais sofre agressões, liderando com taxa de morbidade e mortalidade elevadíssimas (SOUZA; MINAYO, 2005). Resultante de uma sociedade cada vez mais perigosa que necessita de cuidados, e armamentos de proteção para aqueles que ajudam a manter a ordem nas ruas, defendendo a população colocando muitas vezes sua própria vida em risco. Este estado de desequilíbrio e desordem pública em que a sociedade e a polícia vivenciam tem situado a violência no cerne da vida cotidiana, ocupando destaques nos jornais e programas televisivos especiais, gerando um profundo sentimento de insegurança (CHESNAIS, 1996). Situação em que, invariavelmente, o policial não passa incólume num enfrentamento armado, tendo, muitas vezes, que expor a perder a vida em conflitos, caracterizando o alto risco epidemiológico desta atividade (SANTOS, 1997).

Neste panorama, cita Minayo e Souza (2003) que não há dúvida quanto à necessidade de estudos e principalmente de propostas de ações efetivas que tornem os trabalhadores da segurança pública menos vulnerável além de políticas que promovam a diminuição da criminalidade, torna-se indispensável pensar nos que atuam na segurança pública, um dos segmentos mais vulneráveis aos acidentes e à morte no trabalho, apresentando propostas que cooperem para a diminuição da vitimização, que somente será alcançada com a modernização dos seus processos de trabalho, estratégia de atuação e equipamentos.

No oitavo congresso das Nações Unidas sobre a prevenção dos delitos e tratamento dos delinquentes, realizado em Havana, em 1990, ficou consignado que o trabalho dos profissionais de segurança pública constitui-se num serviço social de grande importância. É preciso manter e, sempre que necessário, melhorar as suas condições de trabalho. (ANTERPROJETO, 2005). No estado de São Paulo, atuam hoje cerca de 130 mil policiais civis e militares. É evidente que, dentro desse contingente, tem aumentado a quantidade de mortos e feridos por armas de fogo ou cortantes. Em muitas das vezes, porque os policiais não

estão equipados com elementos de segurança que possam protegê-los, como por exemplo, os coletes à prova de balas (ANTEPROJETO, 2005).

Ainda existe um número alto de fatalidades, no período de 1991 a 2000, 644 policiais foram mortos, e desses somente 293 estavam usando colete à prova de balas, 163 morreram feridos na cabeça, 109 no dorso superior e 46 da cintura para baixo. Analisando essas estatísticas, obtêm-se elementos que justifiquem a necessidade do uso de equipamentos de proteção os investimentos em sua melhoria quanto ao ajuste, conforto e aceitabilidade térmica (FOWLER, 2003).

JUSTIFICATIVA

A Agência Brasil (2005) publicou dados do Instituto de Segurança Pública que indicavam que em 2004 houve um crescimento de 20,93% do número de policiais militares mortos em serviço em relação ao ano anterior, e de 136% em comparação a 2002, sendo que, em muitos casos, os policiais são atacados e executados para roubo de armas. Embora o número de policiais mortos no Brasil tenha aumentado, não há estudos ou números confiáveis que mostrem como acontecem os ferimentos e o número de policiais que sobreviveram em ataques devido ao fato de estarem usando coletes à prova de balas.

O número de vítimas por balas perdidas voltou a crescer no Rio de Janeiro. Um estudo da ONU mostra que o Brasil é o terceiro país na América Latina com maior número de morte com esse tipo de ocorrência. A polícia militar divulgou os dados de mortes de policiais em 2014, foram 17 em serviço e 85 perderam a vida enquanto estavam de folga, o que gera uma grande preocupação com o assassinato de policiais.

Muitos equipamentos modernos de proteção balística foram desenvolvidos nas últimas décadas, visando a proteção dos usuários, a busca pelo material perfeito, resistente, maleável, leve e barato tem sido incansável, tendo hoje no mercado vários modelos já existentes, no entanto de orçamento elevado (R\$ 2.500,00 por unidade).

Dessa forma a busca por materiais balísticos que diminua o orçamento das entidades e órgãos que necessitam desses serviços intensificou, motivadas por questões social, econômica e ambiental, visando o desenvolvimento eficiente do produto. Nesse contexto o material balístico reciclado possui lugar de destaque, as vantagens dessa alternativa dar-se devido aos custos da matéria prima serem baixíssimos e ecologicamente aceito. Com isto, abre um novo

caminho para a confecção de materiais balísticos visando à diminuição dos custos de fabricação.

Nesse contexto, foi desenvolvido um material de proteção balística para armamentos leves, calibres 0,22" e 0,38", utilizando matéria prima reciclada, objetivando diminuir os custos de maneira mais eficiente, segura, ecológica e econômica. O mesmo consiste de um compósito inovador para materiais balísticos, o qual foi desenvolvido com materiais reciclados do Isopor® e caroço de Açaí que ainda são descartados na natureza sem um devido fim adequado, aumentando a poluição.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Desenvolvimento de material balístico de baixo custo.

Objetivos Específicos

- Desenvolver materiais balísticos de compósitos poliméricos.
- Reciclar materiais que mitiguem a poluição ambiental.
- Produzir tal material balístico em condições laboratoriais, avaliando seu processamento, suas propriedades e seu desempenho balístico contra impactos de baixa energia.
- Avaliar o desempenho balístico a fim de otimizar o mesmo.

ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em três capítulos: no capítulo 1 será apresentado o estado-da-arte, ou seja, alguns conceitos básicos para o entendimento do material balístico em questão e materiais utilizados em equipamentos de proteção existentes. O capítulo 2 irá abordar o processo de desenvolvimento e produção do material balístico. E no capítulo 3, por sua vez, serão apresentados os resultados relacionados ao material desenvolvido, como funcionamento e segurança. Por conseguinte, em Conclusões e Perspectivas, serão mostrados os objetivos alcançados por este trabalho, bem como, os passos seguintes sugeridos para o estudo e aperfeiçoamento do mesmo.

CAPÍTULO 1

1. MATERIAIS BALÍSTICOS

1.1 CONTEXTO HISTÓRICO EVOLUÇÃO DA DEFESA PESSOAL

A utilização de materiais de proteção, que hoje nós conhecemos como materiais balísticos começaram a ser utilizados pelos homens primitivos, nos primórdios da raça humana, quando estes usavam peles de animais para se proteger das garras e presas dos predadores. Muito depois surgiram os escudos, feitos de peles no início, e então de materiais rígidos. Os metais também foram usados pelos romanos na proteção do corpo, como placas peitorais, e depois como armaduras de corpo inteiro na idade média. Ilustrado na figura 1.

Figura 1 – Armadura de corpo inteiro.



Fonte: SitePixabay, 2013.

1.1.1 Quanto à sobrevivência

Desde épocas remotas, a raça humana procura se proteger dos ataques inimigos. Há relatos de objetos encontrados na pré-história que seriam usados como defesa, como instrumentos fabricados originalmente de couro, que seriam usados como uma forma de escudo pelos homens das cavernas para se defender da agressão de animais.

O principal conceito de armaduras corporais não mudou muito com o passar dos séculos, sua principal função sempre foi proteger o corpo humano contra agressões de armas que os causassem danos, espalhando a energia do impacto por toda a armadura diminuindo assim um eventual ferimento. A armadura pode ajudar a proteger contra ferimentos graves ou morte.

Tratando-se de proteção, os romanos passaram a usar para o corpo placas metálicas peitorais, que na idade média foram usadas como armaduras de corpo inteiro. Era tão pesada que chagando ao ponto de uma armadura modesta de um cavaleiro medieval atingir cerca de 50 quilos, o que, por si só, implicaria na quase total imobilidade do soldado ou até mesmo a fatalidade numa eventual queda do cavalo (ABRAHÃO, 1988).

Na época medieval, quando conflitos ocorriam, à partir da evolução da defesa, que possibilitou a utilização de metais, como ferro e bronze na confecção dos escudos e armaduras que seriam usados pelas tropas dos guerreiros nas batalhas.

Com o passar dos séculos, e o incremento da tecnologia com armamentos cada vez mais potentes, como a invenção de armas de fogo (por volta de 1500 d.C.) tornaram a necessidade por proteções corporais mais eficientes, e as proteções existentes tornaram-se obsoletas perdendo o espaço. No Japão medieval, a proteção balística flexível que hoje nós conhecemos, começaram a ser confeccionados por guerreiros que usavam peças em seda para se proteger dos fios de espada e das flechas inimigas. A partir do século XIX é que os americanos tentaram utilizar a seda com fins de proteção balística, contudo, está se mostrava eficiente para projeteis de baixa velocidade (em torno de 100 a 150 m/s) das armas usadas até então, e ineficazes contra a nova geração de armas raiadas, que atingiam mais de 200 m/s.

Os coletes balísticos produzidos durante a segunda guerra mundial pelo exército americano eram verdadeiras armaduras, feitas de placas de aço que eram costuradas no pano, no entanto, era pesado e desconfortável, o que dificultava o seu uso.

Somente em meados da década de 1960, na guerra entre Estados Unidos da América e o Vietnã, o exército americano começou a utilizar o que mais se aproxima aos atuais coletes balísticos, os ditos “flakjackets”, uma espécie de jaquetões confeccionados de fibra de vidro acolchoados, o que o tornava um artefato muito pesado e ainda não atingia a proteção esperada.

Devem-se adotar alguns cuidados pertinentes à manutenção e armazenamento das placas balísticas, os coletes quando não utilizados, devem ser preferencialmente pendurados com o auxílio de um cabide, a fim de evitar rugas e deformações em seus painéis, podendo causar perda na eficácia desejada, nunca devem ser deixados sobre os bancos da viatura, expostos diretamente ao sol ou em lugares muito úmidos, não é adequado que se estiquem em excesso as correias de velcro, pois, isto retirará a sua capacidade de estiramento e jamais deve ser guardado enquanto está úmido em consequência de uma lavagem ou da transpiração, a fim de evitar o aparecimento de mofo. Estes procedimentos podem abrandar o desgaste natural dos painéis balísticos. (CBC, 2008).

Pensando na proteção dos indivíduos que fazem uso dos coletes balísticos, é indicado que os painéis balísticos sejam bem compactos ao corpo, diminuindo assim a dor que poderia causar ao ser disparado uma arma de fogo. Há uma grande dificuldade em seu uso operacional devido à diversidade de tamanho dos corpos dos indivíduos que os usam, visto que os coletes balísticos têm suas placas com tamanhos previamente definidos pelas indústrias de materiais bélicos. É consenso que a grande revolução para o desenvolvimento de coletes balísticos moderno ocorreu com a invenção do tecido Kevlar®, pelos laboratórios da DuPont®. Criado na década de 60 e disponibilizado no comércio em 1972, este material foi originalmente desenvolvido para reforçar pneus radiais; depois aplicado em cabos e artefatos destinados à confecção de embalagens de segurança; e, por fim, destinado quase totalmente para a confecção de vestuário de segurança, especialmente os coletes à prova de balas, que com o emprego desse novo material permitiu o desenvolvimento de coletes balísticos mais confortáveis, no modelo mais utilizado atualmente pelas polícias brasileiras, mostrado na figura 3.

Figura 3 - Colete balístico Nível II, modelo dissimulado.



Fonte: Site CBC, 2008.

1.1.2.2 Outras aplicações

No mercado atual existe uma infinidade de aplicações desenvolvidos pensando cada vez mais na proteção dos indivíduos, uma gama desses materiais são desenvolvidos de acordo com as necessidades das entidades que necessitam de segurança e buscam através de materiais fortes e resistentes como os materiais balísticos.

Nas aplicações militares a Von Roll desenvolveu pré-impregnados para proteção individual, suportes e revestimentos para vários usos, tais como veículos de reconhecimento e transporte de tropas, tanques e torres de tanques, abrigos, centros de transmissão, ambulâncias, navios de guerra, caça-minas e contêineres especiais.

Também são encontrados painéis de base de proteção para veículos, tal estrutura é como se fosse um sanduíche, compostas de laminados de balística associados aos principais materiais que podem ser cobertos com várias camadas, como por exemplo borracha anti-derrapante ou capa decorativa. Materiais estes destinados a proteger os veículos de acordo com os padrões STANAG 4569, padrões estes de ensaio para materiais balísticos resistentes a projéteis.

Em aplicações da área dos paramilitares e civis também são encontrados, painéis para escudo, painéis para blindagem de carros e cabines de segurança para áreas protegidas.

1.2 DESENVOLVIMENTO DOS PAINÉIS BALÍSTICOS

Um avanço significativo dos coletes balísticos se deu a partir do desenvolvimento de tecidos modernos, para painéis balísticos. Ocorreu na década de 1960, nos laboratórios da indústria química DuPont, com a produção industrial de uma fibra de polímero amido-aromático (poliaramida), a qual se deu o nome comercial de Kevlar® 29. Porém, sua fabricação só tornou-se economicamente viável a partir de 1965, quando Stephanie Kwolek, um cientista de pesquisa da estação experimental da DuPont, em Washington, descobriu que o amidobenzóico poderia ser polimerizado e solubilizado sob circunstâncias especiais, produzindo um polímero com uma resistência aproximada em cinco vezes superior à do aço. (DUPONT, 2007).

Trata-se de uma poliamida que contem grupos aromáticos, e havendo interações entre esses grupos. O seu valor de Temperatura de transição vítrea T_g é de 375°C e sua Temperatura de fusão T_m é 640°C . O polímero é cristalino e possui grande estabilidade

dimensional. Em termos de termo resistência ainda não há outro material que se compare à proteção do Kevlar®, pois este permite maior tempo de uso em temperaturas de até 250° C e resiste a breves exposições em temperaturas em torno de 700° C.

As fibras de aramida, desenvolvidas pela DuPont, tem na estrutura química a chave de sua superior resistência longitudinal e baixa resistência transversal. Isto se deve principalmente às fortes ligações covalentes na direção da fibra e débeis ligações de hidrogênio na direção transversal.

Kevlar® é uma fibra orgânica em poliamida aromática. Possui propriedades únicas e uma combinação química que a diferencia de outras fibras sintéticas. Kevlar® é uma combinação de alta resistência, alto modulo (resistência a extensão), resistência a estabilidade térmicas. Kevlar® tem uma vasta gama de utilizações. (DUPONT, 2007).

Hoje nas proteções balísticas é utilizada a segunda geração deste material, o Kevlar®129. Este é 15% mais forte e 20% mais macio do que o Kevlar®original. Quase que simultaneamente, uma equipe de químicos da AKzo Inc., multinacional com sede na Holanda, também desenvolveu outro tipo de solvente, similar ao da DuPont, comercializando um tecido balístico idêntico ao Kevlar®, com o nome comercial de Twaron.

Já se sabe que as fibras utilizadas nos painéis balísticos é o Kevlar® da DuPont, observada na figura 4. Fibra extraordinariamente forte, maleável e leve. No entanto, Ela não é útil apenas para placas balísticas existem uma infinidades de aplicações hoje em dia comercializadas utilizando Kevlar® como principal componente, desafiando limites e ultrapassando obstáculos ajudando a cada dia que se ouse mais. Podemos encontrar o Kevlar® em coletes e capacetes à prova de balas, roupas de pilotos de formula 1 e seus carros de corrida, bicicleta, raquetes de tênis, chassis de carros, cintos de segurança, cordas, roupas contra incêndios, esquis esportivos especiais e peças de avião.

Figura 4 - Fibras de Kevlar costuradas formando a placa balística.



Fonte: DUPONT, 2007.

1.3 COMO SURTIU O KEVLAR®?

Sendo o Kevlar®, uma marca registrada da empresa, DuPont, que desenvolveram esta fibra sintética de aramida, muito resistente e leve. Trata-se de um polímero resistente ao calor e sete vezes mais resistente que o aço por unidade de peso. O Kevlar® é usado na fabricação de cintos de segurança, cordas, vibradores, construções aeronáuticas e coletes balísticos. (DUPONT, 2007).

Kevlar® surgiu em uma das experiências da química Stephanie Kwolek em seu laboratório de wilmington, onde sua equipe buscava encontrar uma fibra resistente e leve para pneus, quando algo estranho aconteceu ao tentar dissolver um de seus polímeros. Stephanie Kwolek (2006) relatou o acontecido da seguinte forma:

“Normalmente, uma solução de polímero lembra uma espécie de melaço, embora possa não ser tão grossa. E geralmente é transparente. Esta solução de polímero derramou quase como água, e estava turva. Eu pensei: 'Há algo diferente nisso. Isto pode ser muito útil’”. (STEPHANIE KWOOLEK, 2011)

Essa solução seria simplesmente jogada fora, Porém, o técnico Charles Smullen percebeu que se tratava de algo que valia a pena ser testado, e convenceu Kwolek a testar a solução de aparência “turva, opalescente, e de baixa viscosidade”. Para a surpresa de todos quando fiado como uma fibra, descobriram que diferente do nylon, fibra conhecida da época, está por sua vez não se quebrava, o que logo perceberam que estavam diante de uma revolução no campo da química dos polímeros. Após seis anos, Kevlar, como foi chamado, entrou no mercado.

1.3.1 O que é o Kevlar®?

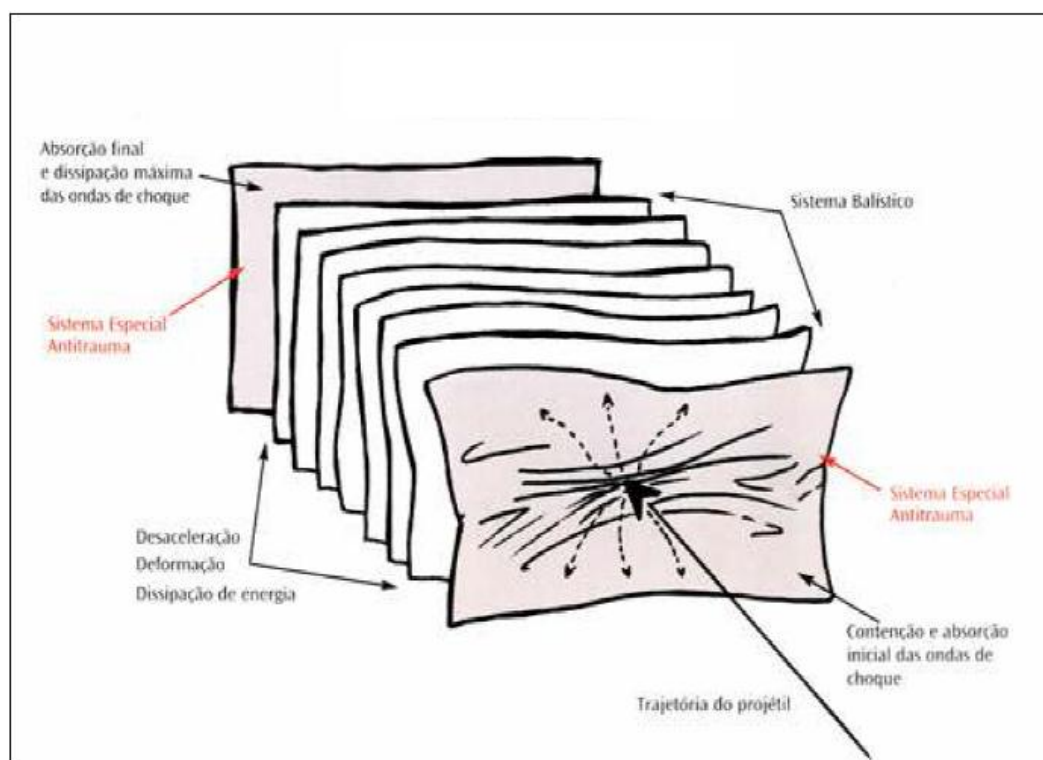
As placas de Kevlar® usada na confecção de coletes balísticos, é 5 vezes mais resistente que o aço e 10 vezes mais que o alumínio, com massas semelhantes, densidade de cerca da metade daquela encontrada na fibra de vidro habitual, não funde e nem incandesce, podendo ser usada sem risco de degradação em temperaturas insuportáveis pelo corpo humano, altamente flexível, podendo ser costurada e inserida em vestes comuns, tais como camisetas. Devido não ser de material impermeável, caso venha a sofrer estes danos pode acarretar perda e sua eficiência balística quando exposta a umidade, devido a ação lubrificante da água, que facilita a entrada do projétil e a consequente ruptura das placas do material, e durabilidade é de aproximadamente 2 a 5 anos, requerendo cuidados especiais durante a

lavagem, além de necessitarem de repotencialização, após 2 anos, isto é, um novo banho de verniz hidrorrepelente, pois, com a utilização contínua dos coletes de aramida, o verniz acaba se partindo, permitindo a absorção de umidade através do suor do corpo do usuário e da água da chuva, reduzindo como vimos, seu grau de proteção. (DUPONT, 2007).

No Brasil, atualmente, os coletes mais comercializados e disponibilizados aos profissionais de segurança pública são os confeccionados a partir de camadas de tecidos de fios de aramida, de polietileno e da combinação dos dois.

Esses fios são entrelaçados formando uma rede densa altamente resistente, que se estende de um lado da estrutura ao outro e segura o projétil, como uma rede de campo de futebol segura uma bola. Além de impedirem que o projétil atinja o corpo, essas camadas dispersam a energia do ponto de impacto para uma área maior, protegendo-o do trauma de impacto causado pela energia do projétil. (HARRIS, 2001). Como é observado na figura 5.

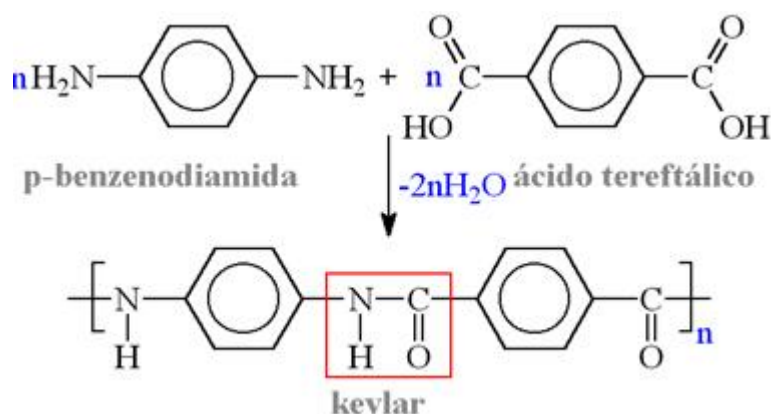
Figura 5- Sistema de dissipação de energia nas camadas de material balístico.



Fonte: site VNNFORUM, 2012.

Kevlar® é uma aramida, termo inventado como uma abreviatura de poliamida aromática, muito resistente e leve, é obtido por meio de polimerização de adição do ácido tereftálico (ácido p-benzenodioico) com a (p-benzenodiamina), conforme a ilustração da figura 6.

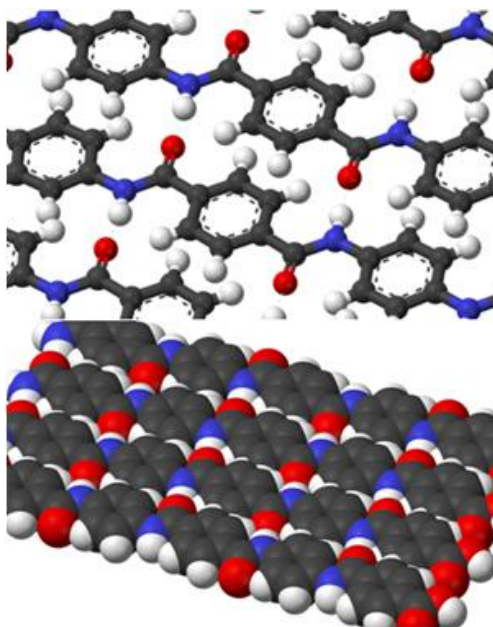
Figura 6 - Polimerização de adição do ácido tereftálico.



Fonte: MUNDO EDUCAÇÃO, 2015.

Kevlar® é um polímero formado por longas cadeias de anéis de benzeno intercaladas com grupos amina, o anel aramida Kevlar® dá estabilidade térmica, enquanto a estrutura que lhe confere elevada resistência. Sua principal propriedade é a alta resistência ao impacto, Kevlar®, se diferencia dos outros polímeros, devido a atração de suas fitas poliméricas que formam camadas rígidas, como se pode observar na figura 7.

Figura 7 - Camadas rígidas de Kevlar resistentes a altíssimos impactos.



Fonte: MUNDO EDUCAÇÃO, 2015.

Comercialmente, existem dois tipos de fibras de poliamida: Kevlar® 29, com resistência mecânica a compressão aproximada de 3000 MPa e módulo de elasticidade intermediário de 64 GPa; e a Kevlar® 49, com um alto módulo de elasticidade da ordem de

300 GPa e resistência mecânica igual a da Kevlar® 29. A Kevlar® 49 é a preferida pelo melhor desempenho conferida aos materiais compósitos fibrosos.

Hoje em dia mais de dois milhões de coletes balísticos confeccionados de Kevlar® são usados no mundo inteiro, estudos mostram que cerca de 42% das mortes de agentes de segurança que não estavam utilizando o colete poderiam ser evitados, se estivessem com o equipamento na hora do crime. A forma como o colete impede que a bala chegue no corpo do indivíduo causando algum ferimento ou até mesmo a morte é pelo fato que as fibras do Kevlar absorvem a energia do impacto espalhando-a por todo o tecido, essa transferência ocorre no cruzamento dos pontos, isto é onde as fibras são entrelaçadas, quanto mais camadas do material, mais pontos de cruzamento, diminuindo assim o efeito do impacto.

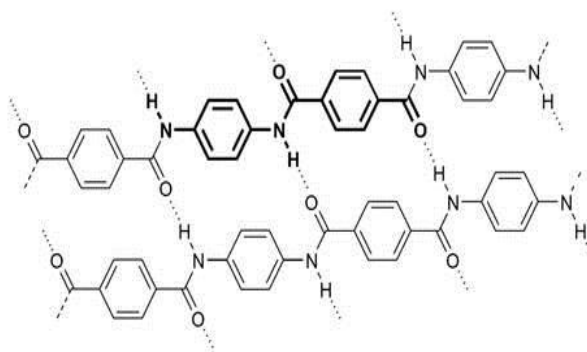
Testes consideram esse tecido como 100% eficaz na proteção a projéteis, função do nível utilizado, embora sua eficiência caia para 90% na proteção, ao ser atingido por objeto perfuro-contundente, como estiletes, furadores de gelo, pontas de flecha, adagas, etc. (HARRIS, 2001). O sucesso é apontado pelo número de vendas, pois, após uma década do início de sua comercialização, a DuPont já vendia mais de 30.000 toneladas por ano.

No Brasil, o colete à prova de balas passou a ser aceito como EPI a partir da segunda metade da década de 80 e somente em dezembro de 2006 passou a ser legalmente considerado um EPI, sendo obrigatório seu uso para os que trabalham portando arma de fogo. Porém, a nova legislação tornará 100% obrigatório seu uso somente em 2011.

1.3.2 Estrutura Molecular do Kevlar®

Kevlar® apresenta uma estrutura molecular que forma cadeias longas e altamente orientadas, suas fibras podem ser fiadas ou tecidas, sendo uma de suas propriedades excepcionais. O Kevlar® é obtido a partir de uma reação de condensação de uma amina (1,4-fenileno-diamina) e um cloreto de ácido (cloreto de tereftaloíla, ou o cloreto do ácido tereftálico). Uma seção da cadeia individual de Kevlar® é exposta na figura 8.

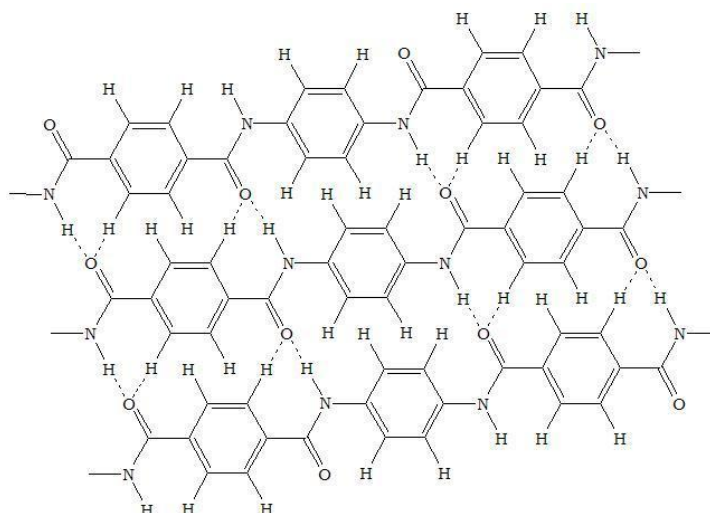
Figura 8 – Seção individual da cadeia Kevlar®.



Fonte: Site Wikipédia, 2015).

Formam cadeias relativamente rígidas e tendem a formar principalmente folhas planas, semelhante às da seda. Isto é devido a orientação-para (1,4) das substituições do anel de benzeno. Quando o Kevlar® é fiado, as cadeias ficam ligadas entre si através de pontes de hidrogênio, formando uma folha que tem uma alta força tensora. As folhas empilham-se radialmente, como os raios de uma roda, permitindo interações adicionais entre grupos aromáticos que estão face a face em folhas vizinhas, ajudando a aumentar a resistência da fibra como um todo, como é observado na figura 9.

Figura 9 - Kevlar fiado formando pontes de hidrogênio, aumentando a força tensora.



Fonte: Site Wikipédia, 2015.

1.4 FIBRA SPECTRA SHIELD® OU SPECTRA FLEX®

Fibra de polietileno dez vezes mais resistente que o aço, polímero de altíssima densidade e peso molecular, suas moléculas são esticadas uniformemente em uma só direção, acumulam camadas dessa fibra perpendicularmente, formando uma rede fortíssima, apresentando como principais propriedades leveza, impermeabilidade e resistência a produtos químicos e raios ultravioletas. Ao contrário dos modelos anteriores eles não deformam com o tempo, não perde força em contato com a água e oferece mais proteção com menos camadas.

Mais leve que a aramida com peso específico de $0,97\text{g/cm}^3$, significando que pode flutuar sobre a água, maior flexibilidade, consequente da formação dos painéis, compostos por fios longitudinais a 0° e 90° , não existindo tramas nem costuras, evitando que o colete se transforme em uma armadura, reduzindo a mobilidade do policial, por ser mais resistente ao impacto de projéteis necessita de menos camadas, permitindo a confecção de coletes mais leves, flexíveis e de melhor performance que os fabricados com aramida, e ainda, com grande resistência a produtos químicos e água, não perdendo suas características quando são molhados. Seu alto poder de parada do projétil com menor deformação proporciona menor trauma ao ponto de impacto.

Apresenta vantagens sobre o Kevlar® por não possuir nenhum tipo de costura, os coletes de SpectraShield® permitem, quando baleados, que as lâminas perfuradas pelo disparo, sejam substituídas sem que se perca por completo o equipamento, tal como mostra a figura 10, o que também não acontece com os coletes tradicionais: no caso de um disparo recebido por um colete de aramida, o usuário é obrigado a descartá-lo, pois suas tramas são rompidas impossibilitando sua reutilização em definitivo.

Figura 10 – Tecido da fibra de polietileno SpectraShield.



Fonte: Selfdefense, 2015.

Apresentam um tempo de vida útil indeterminado. Devido a total impermeabilidade são utilizados até nos coletes dos mergulhadores das tropas especiais dos EUA.

1.5 FIBRA DYNEEMA®

Com características semelhantes ao SpectraShield, a empresa Holandesa DSM produziu o tecido Dyneema, que segundo o fabricante reduziu o peso de $150\text{g}/\text{m}^2$ para $145\text{g}/\text{m}^2$, com aumento significativo da resistência, sendo fabricados com uma lâmina a menos que os fabricados com o SpectraShield.

A fibra Dyneema apresenta altíssima orientação molecular, o que lhe garante maior resistência comparada a aramida, possuindo como principais características: altíssima tenacidade, baixa densidade, alta resistência ao impacto, boa resistência química e a raios ultravioletas, resistência à abrasão e flexibilidade, boa processabilidade. (CORDEBELLO, 2002).

1.6 FIBRA GOLD FLEX®

É o tipo de fibra mais moderna para confeccionar coletes. Consiste de um misto de fibras de aramida revestida por polietileno, através da sobreposição de quatro lâminas de tecido de aramida unidirecional, em posição de $0^\circ/90^\circ$ e $0^\circ/90^\circ$, que são unidas pelo processo de calandragem de um filme de polietileno em cada face, o que o torna mais resistente que o tecido Spectra Flex® como mostra a figura 11, consequentemente, necessita de menos camadas, permitindo a confecção de coletes ainda mais leves, mais flexíveis de melhor performance, com grande resistência a penetração de projéteis e menor trauma no ponto de impacto no corpo do usuário, permitindo a confecção de coletes, tipo *VeryImportantPerson* – VIP. Foram desenvolvidos pela empresa Norte-Americana Honeywell, patenteados por Gold Flex®. (ARAÚJO e SARMENTO, 2007).

Figura 11 - União de fibras de aramida com revestimento de polietileno.



Fonte: www51.honeywell.com, 2008.

CAPÍTULO 2

2. MATERIAIS E METODOLOGIA

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um material balístico baseado em materiais reciclados através do reaproveitamento dos resíduos gerados pela extração da polpa do caroço de Açaí e do Poliestireno Expandido (EPS), que serão retratados a baixo.

O foco deste trabalho é a produção de um material balístico resistente, leve e barato, o que possibilita uma possível utilização por parte das entidades industriais. Devido ao fato dos equipamentos envolvidos serem bastante simples, viabilizando economicamente a sua produção.

Dessa maneira, dividiu-se o projeto em etapas; a primeira etapa do processo foi a reciclagem dos caroços de açaí, assim como os resíduos de EPS; nesta etapa por meio de processamentos os resíduos foram tratados adequadamente. Na segunda etapa do processo, houve a mistura dos dois materiais reciclados e a obtenção dos corpos de prova; e na terceira etapa foi realizado o ensaio balístico, para avaliar as propriedades mecânicas do material obtido.

2.1 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

O EPS é a sigla internacional que indica o Poliestireno Expandido. O nome isopor é uma marca registrada da empresa BASF. Esse material é identificado como um material celular rígido, resultante da polimerização do estireno em água e pertencendo ao grupo dos termoplásticos. Poliestireno Expandido (EPS) é uma espuma rígida obtida por meio da expansão da resina PS durante sua polimerização. Esta expansão é realizada injetando-se um agente químico na fase de reação da polimerização. O agente de expansão comumente utilizado é o pentano. As principais aplicações do EPS são no uso de embalagens e no isolamento térmico. O poliestireno é um produto sintético proveniente do petróleo. Por se tratar de um plástico e de ser muito leve, o processo de fabricação consome pouca energia e gera pouquíssimos resíduos sólidos ou líquidos.

Há 50 anos atrás foi criado o EPS, que é composto de 98% de ar e 2% de matéria prima (poliestireno). Desde a criação tem sido amplamente aplicado de diversas formas como embalagens industriais (tanto para conservação de produtos alimentícios como para proteção de equipamentos), artigos de consumo, materiais para construção civil, aplicação em processos de fundição de blocos de motores na indústria automobilística, etc. (FRANCA; VIANA;

RODRIGUES,1997). O EPS constitui uma parte considerável do resíduo de termoplástico descartado no meio ambiente em termos de volume.

Dados da Abrapex (2000) apontam que a produção de EPS em todo o mundo no ano de 2000 foi da ordem de 2,95 milhões de toneladas que é um fator preocupante para o meio ambiente devido ao grande volume que o EPS ocupa, pois não há muitas alternativas de reproprocessamento para este material, sendo o descarte uma solução comumente adotada. Como observado na figura 12.

Figura 12 - Descarte do EPS pós consumo em lugares impróprios, aumentando a poluição.

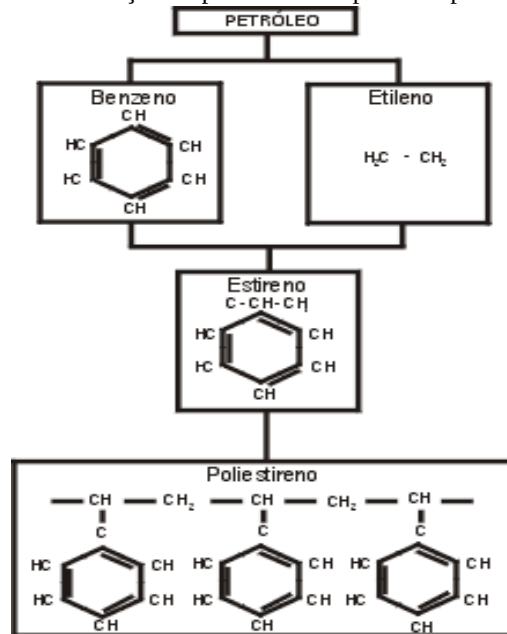


Fonte: Autoria Própria.

Em 1999, o mercado brasileiro consumiu perto de 34 mil toneladas de EPS. Desse total, 45% tiveram como destino o segmento da construção civil. As embalagens industriais foram responsáveis por 42% e 13% artigos de consumo (ABRAPEX, 2000).

O poliestireno é um produto sintético proveniente do petróleo. Por se tratar de um plástico e de ser muito leve, o processo de fabricação consome pouca energia e gera pouquíssimos resíduos sólidos ou líquidos. Formado pela polimerização de muitas moléculas de estireno, que se forma a partir do benzeno e do etileno derivados do petróleo, conforme ilustrado na Figura 13.

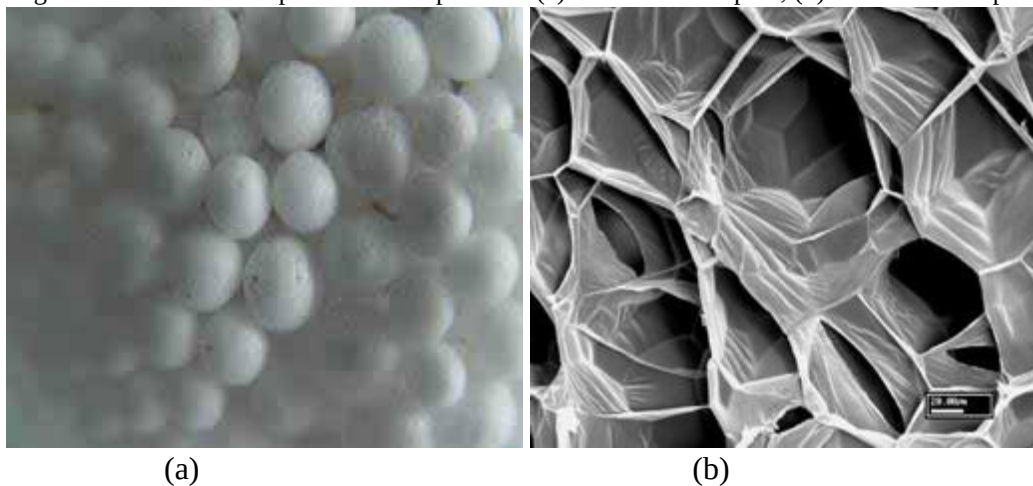
Figura 13 - Obtenção do poliestireno a partir do petróleo.



Fonte: (ROSSACCI; SHIVKUMAR, 2003).

A estrutura de poliestireno expandido pode ser vista em dois níveis. Ao nível macroscópico, a estrutura-padrão de bolas fechadas, geralmente com um diâmetro na ordem de 2-4 mm, a estrutura celular está presente em cada esfera, como mostrado na Figura 14 (ROSSACCI; SHIVKUMAR, 2003).

Figura 14 – Estrutura do poliestireno expandido: (a) nível macroscópico; (b) nível Microscópico.



Fonte: (ROSSACCI; SHIVKUMAR, 2003).

2.1.1 Reciclagem do EPS

Os dados de um artigo do Grupo Polimex (1997) com o nome de “Reciclabilidade e Ecologia” mostram que o EPS é um material inerte quimicamente, não é biodegradável, isto é, não se decompõe, não se desintegra, não desaparece no ambiente e não contém CFC. Devido a

esse fato, o EPS não contamina quimicamente o solo, a água ou o ar, mas constitui um problema ambiental se não reciclado, pois é considerado um material eterno e ocupa muito espaço (devido a sua baixa densidade). Dessa forma faz-se necessário a reciclagem desse material.

Como o EPS apresenta até 98% (m/v) de agente de expansão, antes da reciclagem, recomenda-se a compactação do material para elevar o seu valor agregado, pois reduz significativamente o seu volume, facilitando o transporte deste material.

O EPS geralmente é utilizado como isolante térmico em edificações, permitindo a economia energética durante a vida útil do edifício, energia esta que pode ser centenas de vezes superiores à energia consumida durante o processo de fabricação. Esta economia de energia contribui para a preservação dos recursos energéticos, reduzindo a emissão dos gases poluentes e dos gases que contribuem para o efeito estufa sobre a atmosfera.

2.2 SEMENTES DE AÇAÍ (*EUTERPE OLERACEA* MART)

O Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma das frutas de maior valor sócio-econômico-cultural para a população da região amazônica, em específico à população paraense. Entretanto, o seu principal produto é o seu fruto de onde se extrai o “vinho do açaí” que para muitas famílias é o alimento principal do dia-a-dia. O seu fruto é arredondado de 1 a 2 cm de diâmetro e um peso médio de 0,8g a 2,3g, seu epicarpo é de cor violácea- púrpura quase negra e muito fino, tem apenas 1 a 2 mm de espessura. O epicarpo e o mesocarpo constituem a parte comestível do fruto. Observado na figura 15.

Figura 15 - Fruto do Açaí.



Fonte: EMBRAPA, 2014.

O caroço do Açaí apresenta cerca de 83% do fruto é composto por um pequeno endosperma sólido ligado a uma coloração que na maturidade é rico em celulose, heme

celulose e cristais de insulina, antes é rico em lipídios. Um epicarpo fibroso, rico em sílica e um endocarpo pouco lenhoso.

Portanto, o caroço de açaí é um material orgânico rico em carbono. Segundo Teixeira *et al* (EMBRAPA, p.21), o caroço do açaí é uma fonte rica em carbono, apresentando teor acima de 48%. Assim, faz com que esse resíduo seja bastante utilizado como ingrediente na compostagem ou na produção de adubo orgânico.

O fruto do açaí pode ser encontrado no Brasil em toda extensão do estuário amazônico, concentrado principalmente no Pará, Amapá e Maranhão. Em 2009 o estado do Pará ultrapassou 604 mil toneladas deste fruto de uma área colhida de 61.814 há liderando a produção de açaí.

O açaí tem se destacado como uma das frutas da Amazônia com forte expressão socioeconômica. O açaizeiro se torna relevante por ser fonte de palmito, frutos, caroços e fibras o que o torna um vegetal aproveitado quase que totalmente.

Este ganhou tanta importância no mercado que em 10 anos (2000 a 2009) a área plantada cresceu ficando responsável por 80% da produção total. Tal fator justifica o crescimento do negócio especialmente o crescimento da industrialização. Devido à crescente demanda por polpa do fruto do açaí, a instalação de indústrias para atender essa demanda é atualmente uma atividade com expansão na Região, gerando renda e melhorando a qualidade de vida para as populações ribeirinhas e urbanas.

Estima-se hoje que somente na cidade de Belém são comercializados de 100.000 a 120.000 toneladas de frutos de açaí por ano, e que sua indústria de processamento gera um excedente de cerca de 300 toneladas por dia de lixo orgânico constituído principalmente de caroços.

No entanto, toda essa produção gera uma grande quantidade de resíduos(caroços) que em muitos casos não apresentam um fim adequado sendo muitas das vezes jogados em lugares impróprios gerando um problema ambiental. O que gerou pontos preocupantes do que fazer com os resíduos deixados pós-beneficiamento da polpa do açaí em busca de soluções aceitáveis que finalize o problema ambiental causado.

O resíduo restante do processo de beneficiamento do açaí, como caroço é um material de difícil decomposição em virtude de apresentar alto teor de lignina. Esse teor oscila de 11,5% a 24%. Assim, o caroço pode torna-se um problema ambiental.

2.2.1 Lignina

A lignina é um polímero complexo de estrutura amorfa, com elementos aromáticos e alifáticos, que se integram a celulose e hemicelulose durante a constituição da parede celular dos vegetais e tem como objetivo atribuir rigidez à estrutura da planta, que influencia diretamente nas propriedades mecânicas, morfologia, flexibilidade e na taxa de hidrólise da fibra natural. O caroço de Açaí apresenta um alto teor de lignina que se apresenta entre 22% a 28% em sua estrutura (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1993).

A lignina está presente nos materiais lignocelulósicos, atuando como material adesivo, como agente de enriquecimento e ainda como barreira dificultando a degradação enzimática e/ou microbiana da parede celular. A lignina tem um importante papel para a resistência do material, tendo em vista que a temperatura utilizada para a calcinação do açaí foi a de 400° C e o processo de degradação da hemicelulose, da celulose e da lignina é a partir da temperatura de 200° C, com isso acontece a perda de massa do material.

2.3 MOLDE PARA OS CORPOS DE PROVA

Os moldes confeccionados para os corpos de prova, são materiais de alumínio, com espessura média de 0,40 mm, foi confeccionado 4 placas metálicas quadradas, como mostra a Figura 16.

- Duas placas metálicas com dimensões 12 cm x 12 cm x 5 cm (Comprimento x Largura x Espessura);
- Duas placas metálicas com dimensões 12 cm x 12 cm x 2,5 cm (Comprimento x Largura x Espessura).

Figura 16 - Molde para o corpo de prova.



Fonte: Autoria Própria.

2.4 ACETONA COMO SOLVENTE.

O uso da Acetona como solvente do isopor em uma das etapas de seu processamento tem uma razão bastante simples, isto por que o EPS é composto por cerca de 98% de ar e somente 2% de Poliestireno. A acetona quebra a força de ligação das moléculas do poliestireno, isto é, simplesmente amolece o isopor, e então estes 98% de ar se vão pra atmosfera resultando no final da experiência apenas os 2% de Poliestireno. O que a acetona faz é liberar o ar preso no isopor, O resultado disso é um material pastoso de poliestireno bastante maleável, que proporcionou facilidade quando misturado as cinzas, que tem papel de reforço para a rigidez do material formado.

2.5 METODOLOGIA

Para a confecção dos corpos de prova foi necessário a utilização dos laboratórios de química e Laboratório de Modelagem, Simulação e Controle de Sistemas (Lamosic) do campus Universitário de Abaetetuba da Universidade Federal do Pará.

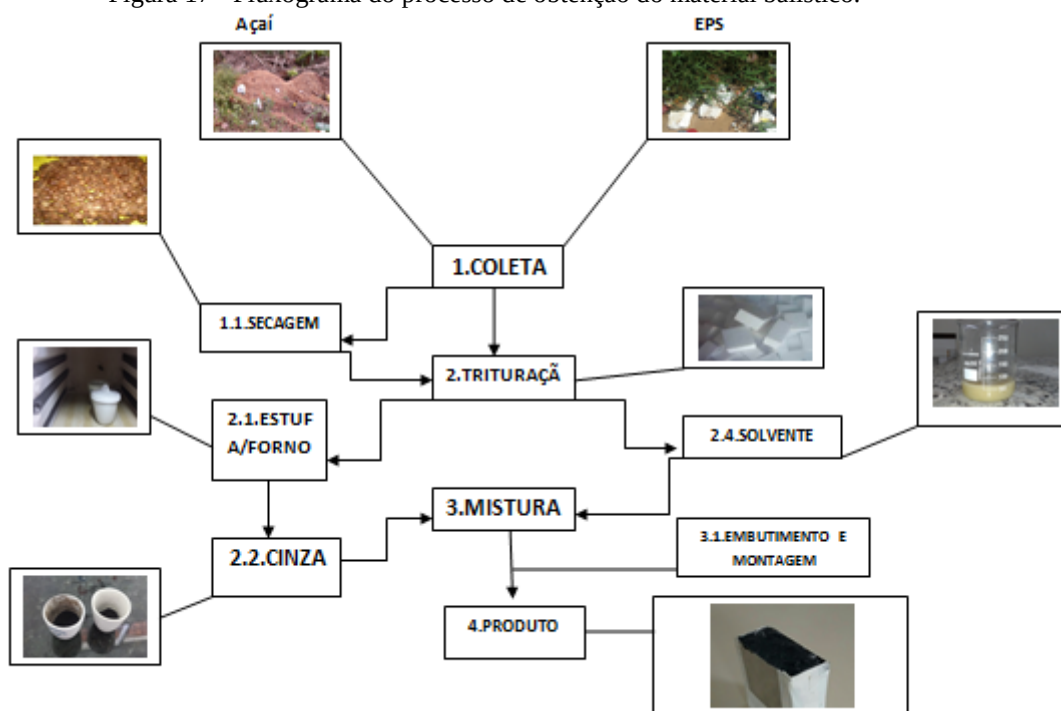
O experimento foi realizado com matéria-prima proveniente de resíduos pós consumo encontrados na área urbana do município de Abaetetuba-Pará.

Para o processo de obtenção do material balístico houve dois estágios de preparação para cada material reciclado. Designado por processamentos.

2.5.1 Processamento para obtenção do material balístico

OEPS foi proveniente de embalagens de eletrodomésticos e utensílios em geral encontrados em desuso. Livres de resíduos químicos ou orgânicos o isopor utilizado para a confecção dos corpos de prova estão sem riscos de sofrer influências nos ensaios balísticos. Assim como na obtenção da Biomassa, proveniente da reciclagem da cinza do açaí, ambos coletados na Cidade de Abaetetuba, matérias primas utilizadas para o desenvolvimento do material balístico, a figura 17 mostra o fluxograma, detalhando cada etapa do processo de obtenção do material balístico.

Figura 17 - Fluxograma do processo de obtenção do material balístico.



Fonte: Autoria Própria.

De acordo com o fluxograma mostrado, a primeira etapa se caracteriza pela coleta das matérias primas, Açai e EPS. O açai então passa pela secagem até retirar toda a umidade, em seguida foi triturado manualmente para a redução do tamanho das partículas, levadas a estufa/forno para a secagem na temperatura de 100°C por 24 horas para o retiro total da umidade, para posteriormente ser submetido à queima em Mufla à temperatura de 400 °C por 6 horas, com taxa de aquecimento de 2,6 °C/min, obtendo a cinza do açai. O EPS depois da coleta devido ao seu grande volume é triturado manualmente deixando este em pedaços menores, para que posteriormente fossem colocados dentro do Bequer, vidraria utilizada para

conter o material, resultado da mistura do isopor com o solvente. Após o processamento de ambos os materiais, açaí e EPS, houve a mistura dos mesmos que resultou em uma argamassa, compósito final da reciclagem do EPS e Biomassa, que após embutimento em molde de alumínio e secagem da argamassa, obtém-se a placa balística.

2.6 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para a produção dos corpos de prova, que foi realizado na temperatura ambiente, primeiramente foi realizado a forragem do molde devido este ter abertura em todos os lados, deixando apenas a parte superior exposta para que pudesse colocar a mistura e esta não extravasar. Em seguida foi realizada a mistura do material pastoso obtido através do processamento do EPS com a cinza do açaí com o teor na proporção de 7%, misturados até atingir a homogeneidade, como pode ser observado na figura 18. O material adquirido foi distribuído no molde, e de 40 a 60 minutos eram compactados pelo fato do solvente (acetona) ser volátil em temperatura ambiente, fazendo com que ao passar do tempo as amostras fossem contraindo. Repetindo o procedimento até o preenchimento total do molde. Após o completo preenchimento, foram deixados na temperatura ambiente até a secagem e endurecimento total do material. O tempo de maturação para que as placas estivessem totalmente secas, foi de aproximadamente 30 dias. O resultado desse processo é mostrado na figura 19.

A porcentagem utilizada de 7% para a confecção dos corpos de prova do material balístico foi baseada em uma pesquisa já existente, cujo o resultado foi obtido através de ensaio de resistência a compressão, a escolha da formulação EPS+7% de cinza foi baseado em pesquisas prévias realizadas pelo Grupo de Materiais Nano e Microestruturados da Amazônia que obteve a resistência equivalente a 11,78 MPa viabilizando a aplicação da formulação nesta pesquisa (CASTRO, 2015).

Figura 18 - Material resultante do processamento do EPS com a cinza do açáí.



Fonte: Autoria própria.

Figura 19 -Placas Balísticas finalizadas.



Fonte: Autoria Própria.

2.7 ARMAMENTOS UTILIZADOS

- Rifle CZ 452 LKM.
- Pistola IMBEL 380.
- Revolver TAURUS cano curto 38.
- Fuzil MD97.

2.7.1 Projéteis utilizados

Para a realização dos ensaios balísticos foram utilizados os projéteis de quatro tipos diferentes de calibres. Como pode ser observado nas figuras 20, 21, 22 e 23.

Figura 20- Munição utilizada no ensaio (0,22" CBC).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 21 - Munição utilizada no ensaio 0,38" OCA (Expansivo Ponta Oca).



Fonte: Autoria Própria.

Figura 22- Munição utilizada no ensaio (0,380").



Fonte: Autoria Própria.

Figura 23 – Munição utilizada no ensaio (0,223") de alto impacto.



Fonte: Site Wikipédia.

2.8 ENSAIO BALÍSTICO

Os ensaios balísticos foram realizados no Clube de Tiro da Grande Belém – CTB, localizado no Município de Benevides (PA), e executados pelo instrutor de tiro, Cleber Silva Siqueira, credenciado pelo departamento da Polícia Federal, Portaria nº 072/2012. GAB/SR/DPF PA.

Para uma perfeita compreensão do ensaio balístico são necessárias algumas definições:

A perfuração completa (PC) ocorre quando o projétil, seus fragmentos ou qualquer fragmento da própria blindagem perfura a placa testemunha permitindo a passagem de luz;

A perfuração parcial (PP) ocorre quando o material suporta o projétil e seus fragmentos, bem como os próprios fragmentos do material da blindagem, deixando intacta a placa testemunha;

Placa testemunha é uma placa de alumínio, que no caso foi o próprio molde da placa com espessura média de 0,40 mm, para comprovar a perfuração completa.

De acordo com a norma, o alvo deve ser fixado de tal forma que a face de impacto seja perpendicular à linha de voo do projétil. A bancada que fixa a blindagem deve permitir movimentos nas direções vertical e horizontal, permitindo impactos em qualquer ponto do alvo (COUTO, 2011).

Foi realizado 5 disparos a uma distância de 6 metros do atirador de acordo com a Norma NIJ- 0108.01. Como mostra a figura 24.

Figura 24 - Placa balística posicionada a distância de 6 m do atirador.



Fonte: Autoria Própria.

Disparo Frontal: As placas são dispostas frontalmente ao atirador, onde a penetração do projétil ocorre na placa de alumínio.

Disparo Lateral: As placas são colocadas lateralmente ao atirador, onde a penetração do projétil ocorre somente no material de preenchimento balístico (compósito).

Foram realizados disparos frontais e laterais com todos os calibres de projéteis especificados.

2.8.1 Quanto a norma dos níveis de proteção balística

Existem duas normas internacionais principais dos níveis de proteção das vestes balísticas, que são definidas pela NIJ- 0101.04 e 0108.01 (*National Institute of Justice*), Ministério da Defesa dos Estados Unidos, estas normas foram aceitas internacionalmente como um padrão de níveis de proteção balística, que exige que a penetração de um determinado projétil (munição) disparado com massa e velocidade determinada, seja igual a zero, provocando uma deformação máxima (trauma fechado) no corpo do indivíduo inferior a 44 mm.

A norma NIJ-0108.01 apresenta os ensaios para materiais balísticos resistentes a projéteis, levando em conta a proteção contra penetração e impacto, como pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1 - Padrão NIJ-0108.01 para materiais resistentes a projéteis.

NÍVEL BALÍSTICO	MUNIÇÃO (TESTE)
I	.38 SPECIAL
	.22 LRHV
II	.357 MAGNUM
	9 MM
IIIA	.44 MAGNUM
	9 MM

Fonte: Adaptado de grupo imbra.

CAPITULO 3

3. RESULTADOS DO ENSAIO BALÍSTICO

Todos os disparos frontais em placas de 5 e 2,5 cm tiveram uma penetração completa (PC), ou seja perforantes. Observado que os tiros foram no centro da placa onde o material ainda apresentava estado gelatinoso, devido a acetona ainda não ter sido completamente evaporada, as figuras 25 e 26 mostram o impacto de calibre 0,22" na placa simples de entrada e saída respectivamente. E as figuras 27 e 28 o impacto de calibre 0,38" e 0,380" respectivamente.

Figura 25 - Impacto de entrada perforante em placa simples com calibre 0,22"



Fonte: Autoria Própria.

Figura 26 – Impacto de saída perforante em placa simples com calibre 0,22".



Fonte: Autoria Própria.

Figura 27 -Impactos perforantes de entrada calibres 0,38" e 0,380".



Fonte: Autoria Própria.

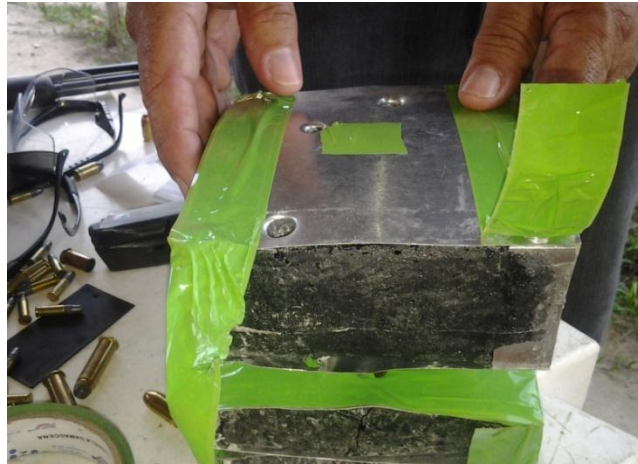
Figura 28 – Impactos perforantes de saída calibres 0,38" e 0,380".



Fonte: Autoria Própria.

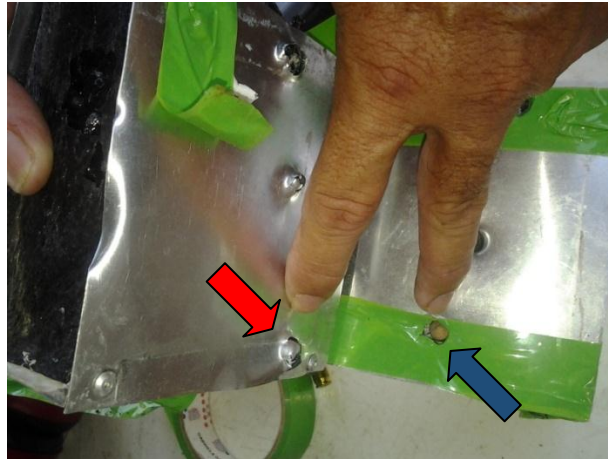
O disparo frontal em composição de placa, ou seja, uma placa de 5 cm conjugada com uma placa de 2,5 cm, formando uma placa balística de 7,5 cm, verificado na figura 29, apresentou o resultado desejado de perfuração parcial (PP) ou seja, não houve a perfuração da placa. O projétil 0,38" ponta oca disparado porrevólver 38, foi retirado pela composição de placas, sendo que o mesmo atravessou a placa de 5 cm e foi retirada no início da placa de 2,5 cm. Tal como mostra as figuras 30 e 31.

Figura 29 – Montagem da placa de 5 cm com a 2,5 cm, formando uma placa de 7,5 cm.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 30 – Perfuração da placa de 5 cm e retenção do projétil 0,38" no início da placa de 2,5 cm.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 31 – Projétil 0,38" alojado na segunda placa.



Fonte: Autoria Própria.

A figura 32 mostra a desmontagem da placa onde os projéteis permaneceram alojados na segunda placa, verificando que não houve PC, ou seja não houve penetração completa retendo a bala.

Figura 32—Desmontagem da placa para mostrar o projétil 0,38" oca alojado no compósito.



Fonte: Autoria Própria.

Os disparos laterais na placa, com projéteis de calibres 0,22" disparado de Rifle; 0,380"disparo de pistola e 0,38" ponta oca disparada por Revólver, a distância de 6 metros foram todas retidas pelas placas balísticas, com penetração entre 10 e 11 cm. Não houve a perfuração completa da placa. Como observado nas figuras 33 e 34 e 35.

Figura 33 – Impacto de entrada não perfurante, calibre 0,22".



Fonte: Autoria Própria.

Figura 34 - Penetração do projétil calibre 0,22" entre 10 e 11 cm.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 35 – Detalhe ampliado da zona e deformação do projétil calibre 0,22".



Fonte: Autoria Própria.

Disparos laterais na placa de 5 cm não houve perfuração, ou seja, o material resistiu ao impacto do projétil de calibre 0,380", de acordo com a figura 36.

Figura 36 – Impacto não perforante, calibre 0,380”.



Fonte: Aatoria Própria.

No final do ensaio foram retirados os restos das munições alojadas nas placas balísticas respectivamente calibres 0,22" 0,38" 0,380". Como observado na figura 37.

Figura 37 – Projéteis retidos pelas placas balísticas.



Fonte: Aatoria Própria.

Todos os disparos realizados com projétil de alto impacto para armamento de guerra, calibre 0,223" foram perforantes, mas foi observado desvios em núcleos duros de compósito.

Os projéteis 0,38" ponta oca disparados por Revólver e Rifle foram retidos pela placa balística, frontal e lateralmente, respectivamente.

3.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A tabela 2 apresenta os resultados do ensaio balístico nas placas de EPS + 7% de cinza, 12 cm x 12 cm x 5 cm e 12 cm x 12 cm x 2,5 cm, que foram submetidas ao impacto dos projétil 0,22", 0,38", 0,380" e 0,223". Pode-se observar que houve perfuração nas placas de 5 cm frontalmente e não perfuração na placa conjugada de 5 cm com outra de 2,5 cm, formando uma placa de 7,5 cm. E todos os disparos na placa lateralmente com exceção do projétil 0,223" de alto impacto não houve a perfuração.

Tabela 2 - Resultados do Ensaio Balístico.

PROJÉTIL		ARMA UTILIZADA	IMPACTO <i>versus</i> DISPOSIÇÃO DA PLACA BALÍSTICA	
Tipo	Velocidade de saída (m/s)	Tipo	Frontal*	Lateral*
.22" (7,05 mm)	300	Rifle CZ 452	PC $\delta_E = 5$ cm.	PP $\delta_E = 12$ cm. $\delta_P = 10$ cm.
.38" ponta oca (7,65 mm)	330	Rifle CZ 452 Revólver 38	PP $\delta_E = 7,5$ cm. $\delta_P = 5$ cm.	PP $\delta_E = 12$ cm. $\delta_P = 11$ cm.
.380" (9 mm)	330	Pistola Imbel 380	PC $\delta_E = 5$ cm.	PP $\delta_E = 12$ cm. $\delta_P = 11$ cm.
.223" (5,56 mm)	950	Fuzil MD97	PC $\delta_E = 5$ cm.	PC $\delta_E = 12$ cm.

* - Distância de 6,0 m entre arma e placa.

δ_E – Espessura da placa balística.

δ_P – Penetração da bala no interior da placa balística.

O material balístico desenvolvido suportou impactos com energia cinética inferior a 512,66 J, sem deformação ou penetração da placa testemunha, a espessura da placa balística utilizada foi de 7,5 cm, parando a bala a 5 cm da placa. Todas as perfurações laterais foram PP com penetração de 10 a 11 cm no interior do material balístico. Esses resultados mostram que o material balístico EPS + 7% de cinza de caroço de Açaí apresentou propriedades compatíveis com materiais balísticos nível II da Norma NIJ- 0108.01, resistentes a projéteis de calibre 0,357".

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Tendo em vista a necessidade da reutilização de materiais descartáveis que não apresentavam uma destinação adequada, solucionando problemas de caráter ambiental e social, foi desenvolvido o material balístico em questão, produzido através da reciclagem do EPS com as cinzas do caroço de Açaí, resistente e leve o bastante para ter uma gama de aplicações, de baixo custo, visto que a matéria prima foi totalmente advinda da reciclagem.

Os testes foram feitos nas placas de 5 cm de espessura onde todas apresentaram perfuração visto que os tiros foram todos direcionados no meio da placa, onde observou-se que a mesma ainda apresentava uma certa maciez diminuindo a resistência devido a acetona ainda não ter sido totalmente evaporada, a partir dessa observação, as placas foram conjugadas umas nas outras (5 + 2,5 cm) formando uma placa de 7,5 cm de espessura, nesta não houve perfuração em quase todos os calibres testados, menos no calibre 0,223"que é armamento pesado e considerado de guerra. Tanto frontalmente quanto lateralmente não houve PC nas regiões totalmente solidificadas do compósito,concluindo que o material balístico desenvolvido de EPS + 7% de cinza de açaí apresenta propriedades favoráveis a blindagens balísticas.

As placas produzidas e testadas resistiram aos impactos de até 0,380"com energia cinética inferior a 512,66 J, classificando o material para armamentos leves, nível II, que correspondem à armamentos de calibre 0,357", apresentando um desempenho balístico satisfatório. Sugere-se a diminuição da porosidade do material e secagem completa do solvente, que garantirá resistência mecânica maior e a diminuição da espessura da placa, a fim de se obter melhores resultados de desempenho balístico.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, J. R. R. **Coletes à Prova de Balas**. Revista Magnum. São Paulo, n. 12, Ano II, 1988.

ABRAPEX, **Associação Brasileira dos Fabricantes de Isopor**, Disponível em: <<http://www.abarpex.com.br>>, acesso: em 17 de Setembro. de 2015.

ANTEPROJETO de lei nº 305. Imprensa Oficial, São Paulo, SP, v. 115, n. 93, 19 mai. 2005. Disponível em: <<http://www.imprensaoficial.com.br>>. Acesso em: 25 jun. 2015.

ARAÚJO, T.; SARMENTO J. **Do que é feito um colete à prova de balas?** Revista MundoBRASIL, Agência. Sinopse: Resumo do Jornal O Globo, Rio de Janeiro, 18 jan 2005. p. 1,19. Disponível em <http://www.radiobras.gov.br/antiores/2005/sinopses_1801.htm>. Acesso em 09 de julho de 2015.

CASTRO, Y. **Desenvolvimento De Tijolo Ecológico Baseado Em Compósito De Poliestireno E Biomassa Pós-Consumo**. 2015. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Industrial. Universidade Federal do Pará, Abaetetuba.

CBC. Companhia Brasileira de Cartuchos, coletes 2008. Disponível em: (<http://www.cbc.com.br/coletes>). Acessado em Setembro de 2008.

CHESNAIS, J. artigo traduzido por Luiz Gonzaga de Freitas, Revista A FORÇA POLICIAL, São Paulo, nº 9, jan./mar. 1996

CORDEBELLO, Fátima S. Polímeros do futuro: Tendências e oportunidades. Polímeros., São Carlos, v. 12, n. 4, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282002000400003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 18 jul 2015. Pré-publicação.

COUTO, C.A.O., Estudo de blindagem para proteção contra impactos de micrometeoróides em satélites artificiais. 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Materiais e Sensores) -Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011

Disponível em :[HTTP://honeywell.com](http://honeywell.com). Acessado em 28 de Agosto de 2015.

Disponível em: www2.dupont.com/Kevlar®/en../kevlar®_technical_guide.pdf. Acessado em 20 de Junho de 2015.

Disponível em: <https://pixabay.com/pt/knight-armadura-ritterruestung-116666/>

Disponível em: <http://vnnforum.com/showthread.php?t=132998&page=5>

Disponível em: <http://www.dupont.co.uk/content/dam/dupont/products-and-services/fabrics-fibers-and-nonwovens/fibers/documents/Kevlar%C2%AE%20Technical%20Guide.pdf>

Disponível em: <http://www.selfdefense.com.br/site/artigos/protecao-balistica-individual>> Acessado em 05 de Maio de 2015.

Disponível em: <http://www.tecmundo.com.br/curiosidade/20074-como-o-kevlar-para-uma-bala-de-arma-de-fogo.htm>. Acessado em 16 de Julho de 2015.

Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Kevlar>. Acessado em 20 de Agosto de 2015.

Disponível em: http://www2.dupont.com/DuPont_Home/en_US/index.html. Acessado em 27 de agosto de 2015.

DUPONT. **Technical Guide DuPont**. Aramid Fiber. Disponível em: <http://compositoskevlar®.blogspot.com/>. Acessado em 27 de agosto de 2015.

Embrapa, abr2014.Disponívelem:<http://embrapa.abril.com.br/extra/materia_223649.shtml>
Acesso em 30 jun 2015.

FRANÇA, VIANA, RODRIGUES **Gerenciamento de resíduos recicláveis: a problemática associada ao poliestireno expandido pós-consumo**, In: VI Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, Porto Alegre/BR (1997).

FOWLER, J. The evaluation and testing of two ballistic vests: a comparison of comfort. Dissertação (mestradoemCiencia) - Department of Textiles and Consumer Sciences - College Of Human Sciences The Florida State University, Florida: 2003. Disponível em: <<http://etd.lib.fsu.edu/theses/available/etd-09172003-202856/>> Acesso em 20 mai 2015.

FULCHERI, M. A. **Coletes à prova de balas: proteção profissional**. Artigo. São Paulo: 2006. Disponível emhttp://www.taurus.com.br/?on=noticias¬icia_id=7&pagina=3 Acesso em 08 jul 2015.

HARRIS T. Como funciona o colete à prova de balas. Artigo. 2001. Disponível em:<<http://ciencia.hsw.com.br/colete-a-prova-de-balas.htm>> Acesso em 01 jul 2015).

MINAYO, M. C. S.; SOUZA, E.R. 2003. Missão Investigar: entre o ideal e a realidade de ser policial. Rio de Janeiro: Editora Garamond.

MUNDOEDUCAÇÃO,Disponívelem: <HTTP://www.mundoeducacao.com/quimica/polimero-Kevlar-mais-forte-que-aco.htm>, acesso: em 19 de Julho de 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, do Abastecimento e da Reforma Agrária
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1996 - EMBRAPA
Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental- CPATU
Belém,PA

NATIONAL INSTITUTE OF JUSTICE STANDARD. NIJ-0108.01,Ballistic resistance of body armor. Estados Unidos da América, 2008.

ROSSACCI, Shivkumar. **Utilização de Poliestireno Expandido e Potencial de Aproveitamento de seus Resíduos pela Construção Civil**. 2003. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS, José V. T. dos. A arma e a flor: formação da organização policial, consenso e violência. *Tempo Social – Revista de Sociologia da USP*. São Paulo, v. 9, n. 1, 1997.

SOUZA, E. R. ; MINAYO, M. C. S. Policial, risco como profissão: morbimortalidade vinculada ao trabalho. *Ciênc. saúde coletiva*. [online]. out./dez. 2005, vol. 10, n. 4, p. 917-928. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232005000400015&lng=en&nrm=iso>. ISSN 1413-8123. Acesso em 12 nov. 2015.

STEPHANIE KWOLEK, mulher hd. Disponível em <http://mulherhd.blogspot.com.br/2013/02/stephanie-kwolek-inventora-do-kevlar.html>.

.