

METODOLOGIA DE PREPARAÇÃO DE COMPÓSITOS OBTIDOS DO PERCENTUAL DENOMINADO CARVÃO PRESENTE NA CINZA DO BAGAÇO DE CANA COMO CARGA FIBROSA EM MATRIZ DE BORRACHA NATURAL

Gustavo de Oliveira CARDOSO¹
Elton Aparecido Prados dos REIS²

RESUMO: Almeja-se com o desenvolvimento deste a geração de compósitos por meio de borracha natural, o qual será utilizada como matriz polimérica, juntamente com a fração correspondente ao denominado carvão presente na cinza do bagaço da cana, que por sua vez atuará como carga fibrosa a ser inserida na matriz polimérica, visando a obtenção de um novo material com propriedades mecânicas, térmicas e morfológicas satisfatórias para que se possa ser direcionado a aplicações em âmbito industrial e tecnológico. Com o desenvolvimento deste novo material se poderá contribuir de forma significativa na diminuição dos impactos causados ao meio ambiente pelo descarte inadequado deste resíduo, que é um sério problema do setor sucroalcooleiro.

Palavras-chave: Cana de açúcar. Borracha natural. Cinza do bagaço da cana. Resíduo. Apelo ambiental.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a cana de açúcar é tida como a cultura agrícola mais importante da história visto que provocou inúmeras alterações nos planos ecológicos, econômicos e comerciais (MARCILIO, 2005). A evolução da cana de açúcar em nosso país passou por diferentes processos, assumindo grande importância no início do ciclo da economia nacional (MARCILIO, 2005). Esta é a principal matéria prima do etanol, no qual em sua produção são obtidos subprodutos dessa cana, os quais são o bagaço, e este quando queimado em caldeiras, gera a cinza. Como o etanol é um produto muito consumido no Brasil, a quantidade

¹ Discente do 3º ano do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário “Antônio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. gustavooliveira622@gmail.com. Bolsista da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo.

² Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário “Antônio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. Doutor em Ciência e Tecnologia de Materiais do programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia dos Materiais (POSMAT) da Universidade Estadual Paulista. elton.reis@toledoprudente.edu.br Orientador do trabalho.

alcançada de cinza é muito grande, cerca de 654 milhões de toneladas, quantia que a torna o maior resíduo da agricultura brasileira.

Diante da queima nas caldeiras do bagaço para um fim de cogeração de energia nas indústrias sucro-alcooleiras, produz-se cinza como material resultante e residual. O termo “cogeração” é utilizado para dar nome aos processos de produção combinada de energia térmica e potência, mecânica ou elétrica, com o uso da energia liberada por uma mesma fonte primária de combustível, qualquer que seja o ciclo termodinâmico. Este sistema tem como um dos aspectos mais importantes satisfazer a demanda do consumidor, já que não é viável, em maioria dos casos, comprarem este tipo de energia de uma fornecedora. A potência elétrica produzida pode atender parte ou a totalidade das necessidades da própria planta industrial, existindo também a possibilidade de produção de excedente de energia elétrica para a venda, constituindo-se em mais um produto da empresa (OLIVEIRA, 2014).

Desta forma, perante a grande geração desse resíduo, sem grandes utilizações, torna-se interessante a utilização da cinza do bagaço de cana gerada pela Usina de Açúcar e Álcool Auto Alegre na sua produção, tais como na produção de novos compósitos, como verificado em pesquisas desenvolvidas por BARREIRA ET. AL, 2017.

O presente artigo visa elucidar a geração dos resíduos bem como o estudo da utilização dos percentuais de carvão como carga no desenvolvimento de um novo compósito empregando-se como matriz borracha natural, tendo em vista a produção de um novo material que venha a atender as necessidades comerciais e aplicações tecnológicas, como por exemplo, em artigos no setor da construção civil.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Extração e Produção de Borracha Natural

As características deste artefato foram descobertas no início do século XVI pelos Espanhóis que sucederam a Colombo, onde faziam observações aos índios americanos que brincavam com uma bola branca que saltitava, pois até então

não havia sido descoberto nenhum material que reunisse as propriedades de flexibilidade e impermeabilidade, fato que despertou grande interesse industrial (REIS, 2010).

No Brasil o extrativismo da borracha se desencadeou na Amazônia. Inúmeras pessoas vieram para o Brasil se aproveitar deste material, o que ocasionou o surgimento de Manaus e Belém (REIS, 2010).

O Brasil, nas últimas décadas do século XIX até a primeira metade do século XX, foi o maior exportador de borracha natural do mundo, entretanto hoje importa, cerca de dois terços do montante que consome da Malásia, Tailândia e Indonésia, que são os países de maior produção de borracha natural da atualidade obtendo cerca de 90% da produção mundial (REIS, 2010).

Porém o interesse pela produção de borracha natural está sendo recuperado pelo Brasil, sendo que a produção nacional está concentrada nos estados de São Paulo (34%), Mato Grosso (29%) e Bahia (15%) (REIS, 2010).

Numerosas espécies botânicas produzem borracha natural. Entretanto, a única espécie que gera borracha de alta qualidade e em condições econômicas é a *Hevea brasiliensis* (REIS, 2010).

Mais conhecida como seringueira, é uma planta da família das Euforbiáceas que abrange uma gama de espécies com grande interesse comercial como, por exemplo, a mamona (*Ricinus communis L.*), o tungue (*Aleurites*) e a mandioca (*Manihot*). A seringueira *Hevea brasiliensis* é a maior fonte de borracha natural (REIS, 2010).

A borracha natural é obtida após o processo de evaporação dos demais constituintes do látex e entre os produtos naturais, tem características próprias, exibe elasticidade, plasticidade, resistência ao desgaste, propriedades isolantes de eletricidade e impermeabilidade para gases e líquidos, a mesma apresenta-se ilustrada na figura 1. Contudo, a altas temperaturas, a borracha perde suas propriedades se tornando em um material pegajoso. Este problema foi solucionado após a descoberta de Charles Goodyear, no ano de 1839. Charles observou que após utilizar uma mistura de enxofre e borracha crua em alta temperatura se originava um material de maior elasticidade, resistência e durabilidade. Este processo recebeu o nome de vulcanização (REIS, 2010).

Embora a borracha sintética obtida do petróleo possui quase a mesma composição química da borracha natural, suas propriedades físicas são inviáveis para alguns manufaturados, como por exemplo: para luvas cirúrgicas, preservativos, pneus de automóveis e revestimentos diversos, além de ser uma fonte não renovável. A borracha natural é também matéria prima essencial para a fabricação de vários artefatos em transportes, indústrias e materiais bélicos (REIS, 2010).

Figura 1: Borracha natural tipo crepe claro brasileiro após o processo de crepagem.



Fonte: Tese de Doutorado de Elton Aparecido Prado dos Reis

2.2 Produção de Cinza do Bagaço de Cana

Denomina-se cinza do bagaço da cana o resíduo produzido durante a incineração do bagaço nas usinas sucroalcooleiras nacionais.

Há algum tempo, as indústrias do setor queimam o bagaço e a palha da cana para geração de energia elétrica destinada a consumo próprio, ou seja, cogeração de energia e, em caso de produção excedente disponibilizam esta para venda a terceiros.

A fuligem gerada no processo de incineração é recolhida a partir de técnicas de lavagem e decantação e, juntamente com a cinza de caldeira, constituem-se em resíduos finais do processo industrial, no qual não há possibilidade de redução do mesmo. Para cada tonelada de bagaço que alimenta o processo de cogeração, são gerados, aproximadamente, 25 kg de cinza residual. As

características da cinza são influenciadas pelas condições de queima do bagaço (LIMA, 2010).

A cinza apresenta dentre a sua composição, em termos de óxidos, uma grande quantidade de dióxido de silício, normalmente acima de 60% de sua massa. Uma outra fonte de sílica para a cinza é a areia (quartzo), oriunda do local onde a cana se encontra plantada (LIMA, 2010).

Mesmo estando contaminada por areia, a cinza é um resíduo passível de ser reciclado ou reutilizado em atividades mais nobres do que a fertilização de lavouras, uma vez que possui alguns nutrientes minerais para esse fim (LIMA, 2010).

Atualmente as cinzas resultantes da queima são descartadas em aterros ou lançadas em plantações de cana-de-açúcar como adubo, sendo nestas atividades gastos correspondentes a 5% de cinza do total produzido (LIMA, 2010).

Para fins de ilustração apresenta-se na figura 2 o resíduo descrito acima.

Figura 2: Cinza do Bagaço da Cana em sua forma bruta antes do processo de separação das granulometrias.



Fonte: O autor

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cinza do bagaço da cana foi fornecida em uma quantia de aproximadamente 5 kg pela Usina Alto Alegre localizada no município de Santo

Inácio – PR, já a borracha natural do tipo Crepe Claro Brasileiro foi doada em um fardo de 10 kg pela empresa DLP Borrachas localizada na cidade de Poloni – SP.

Para ser utilizada, a cinza do bagaço da cana foi sujeita primeiramente a processos de secagem em uma temperatura de 100°C por 24 horas em uma estufa da marca SP Labor modelo SP-100 pertencente ao laboratório de materiais de construção civil do Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo, sob a orientação do Prof. Dr. Elton Aparecido Prado dos Reis, visando à retirada da umidade presente na mesma, restando assim apenas partículas em estado sólido. Posteriormente foi realizado o peneiramento em uma sequência de peneiras de 30, 45, 60, 100, 120 e 270 de mesh, para que se obtivesse a granulometria desejada. Por fim, o material foi armazenado em sacos plásticos devidamente lacrados com o objetivo de manter o material sem presença de umidade, para ser utilizado na mistura com a matriz de borracha natural. Os procedimentos descritos acima apresentam-se ilustrados nas figuras 3, 4 e 5.

Figura 3: Processo de secagem da cinza do bagaço de cana a uma temperatura de 100°C.



Fonte: O autor.

Figura 4: Processo de peneiramento da cinza do bagaço da cana.



Fonte: O autor.

Figura 5: Armazenamento da cinza do bagaço de cana em sacos plásticos.



Fonte: O autor.

Os compósitos de borracha natural e cinza do bagaço de cana foram produzidos por meio de incorporação a seco utilizando o cálculo de proporção em phr, sendo estes 0, 20, 40, 60 phr para 100 phr de borracha natural, a fim de investigar a interação entre a cinza do bagaço de cana e a borracha natural e desta forma determinar as propriedades físicas e químicas dos diferentes. Para isso utilizou-se um cilindro misturador aberto da marca Makintec modelo 379m ilustrado na Figura 6, pertencente ao laboratório de Tecnologia de Borracha e Aplicações da Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, sob a coordenação do

Prof. Dr. Aldo Eloizo Job, para incorporar a carga e os agentes de vulcanização na matriz elastomérica.

Figura 6: Cilindro misturador aberto Makintec modelo 379m.



Fonte: Makintec.

Usou-se 100 phr de borracha natural para que assim se obtivesse o compósito com proporções em massa e volume necessários para posterior caracterização a ser realizada. Ainda em relação à produção dos compósitos, realizou-se a vulcanização da matriz elastomérica, a fim de se obter maiores propriedades mecânicas e térmicas. O sistema de vulcanização utilizado é apresentado na Tabela 1. É válido ressaltar que o sistema utilizado denomina-se sistema para goma pura, onde optou-se por seu uso a fim de analisar a melhora da propriedade mecânica exclusivamente pela presença da cinza do bagaço de cana.

Tabela 1: Formulação em phr e massa do sistema de vulcanização utilizado.

PROPORÇÕES		
MATERIAIS	PHR	MASSA (g)
Cinza do bagaço da cana	0, 20, 40 e 60	0, 20, 40 e 60
Borracha Natural	100	100
Óxido de Zinco	5	5
Ácido Esteárico	1	1
Enxofre	2	2
MBTS	1	1

As amostras foram obtidas através das seguintes etapas: Para o andamento da preparação das amostras pesou-se as quantidades de borracha natural desejada, assim como a massa de cinza do bagaço de cana e agentes de vulcanização em uma balança semi-analítica digital da marca Shimadzu modelo BL-3200H, como pode ser visto na Figura 7, a mesma se encontra presente no laboratório de tecnologia de borrachas da Faculdade de Ciências e Tecnologia UNESP de Presidente Prudente.

Figura 7: Balança semi-analítica Shimadzu utilizada para pesagem dos materiais.



Fonte: O autor.

Figura 8: Materiais devidamente pesados para formulação da massa acelerada



Fonte: O autor.

Para a produção dos compósitos e da borracha natural vulcanizada, inicialmente foi feita a mastigação da matriz elastomérica em um cilindro misturador aberto da marca Makintec – modelo 379m pertencente ao laboratório de tecnologia

de borracha e aplicações da Faculdade de Ciência e Tecnologia da UNESP de Presidente Prudente, sob a coordenação do Prof. Dr. Aldo Eloizo Job. A mastigação foi realizada durante o tempo de dez minutos a fim de que se obtivesse a viscosidade necessária para adição da carga (cinza do bagaço de cana) e agentes de vulcanização. Após adição dos agentes retomou-se o processo de mastigação por mais 5 minutos para que se obtivesse então uma plena dispersão dos agentes na matriz polimérica, obtendo-se assim uma mistura homogênea de cor escura. A essa mistura obtida pelo processo de mastigação denomina-se massa acelerada e sua imagem é apresentada na Figura 9.

Figura 9: Massas aceleradas através do processo de mastigação com adição de 0, 20, 40 e 60 gramas de cinza do bagaço de cana.



Fonte: O autor.

Após, retirou-se uma pequena amostra de 15 g de massa acelerada para que se realizasse o ensaio de reometria visando-se obter o tempo ótimo de vulcanização (t_{90}). O ensaio foi realizado em um reômetro de torque da marca HAAKE POLYLAB OS, utilizando rotores tipo *roller*, também pertencente ao

laboratório de tecnologia de borrachas da Faculdade de Ciências e Tecnologias UNESP de Presidente Prudente. Após a realização dos ensaios o tempo ótimo de vulcanização foi aproximadamente o mesmo para as devidas amostras, ao qual apresentou-se em cerca de 12 minutos e 30 segundos. O corpo de prova para ensaio de abrasão obtido neste ensaio é apresentado na figura 10.

Figura 10: Corpo de prova obtido após o ensaio realizado no reômetro de torque, com 20 gramas de cinza do bagaço da cana.



Fonte: O autor.

Após concluir o estudo reométrico realizou-se a termo prensagem das massas aceleradas visando a vulcanização da matriz elastomérica e assim a obtenção dos compósitos. Para a realização da técnica de termo prensagem utilizou-se uma prensa da marca SOLAB, sendo que a mesma pertence ao laboratório de tecnologia de borracha e aplicações da Faculdade de Ciência e Tecnologia UNESP de Presidente Prudente. O modelo da prensa utilizada pode ser visto na Figura 11.

Figura 11: Termo prensa para vulcanização das massas aceleradas.



Fonte: Solab.

A massa acelerada foi colocada em uma forma retangular de alumínio de dimensões 150 mm X 150 mm X 2 mm, a qual foi recoberta em ambos os lados por uma placa de alumínio gerando um sistema sanduiche. O sistema foi levado a termo prensa onde foi aquecido a uma temperatura de 150°C e submetido à carga de 60 toneladas durante o tempo de 12 minutos e 30 segundos, ou seja, durante o tempo de t_{90} .

Após a conclusão da técnica de termo prensagem foram obtidos os compósitos de borracha natural e cinza do bagaço da cana.

Para fins de ilustração segue na figura 12 o compósito produzido com 20 phr de cinza do bagaço de cana.

Figura 12: Compósito produzido com 20 phr de cinza do bagaço de cana.



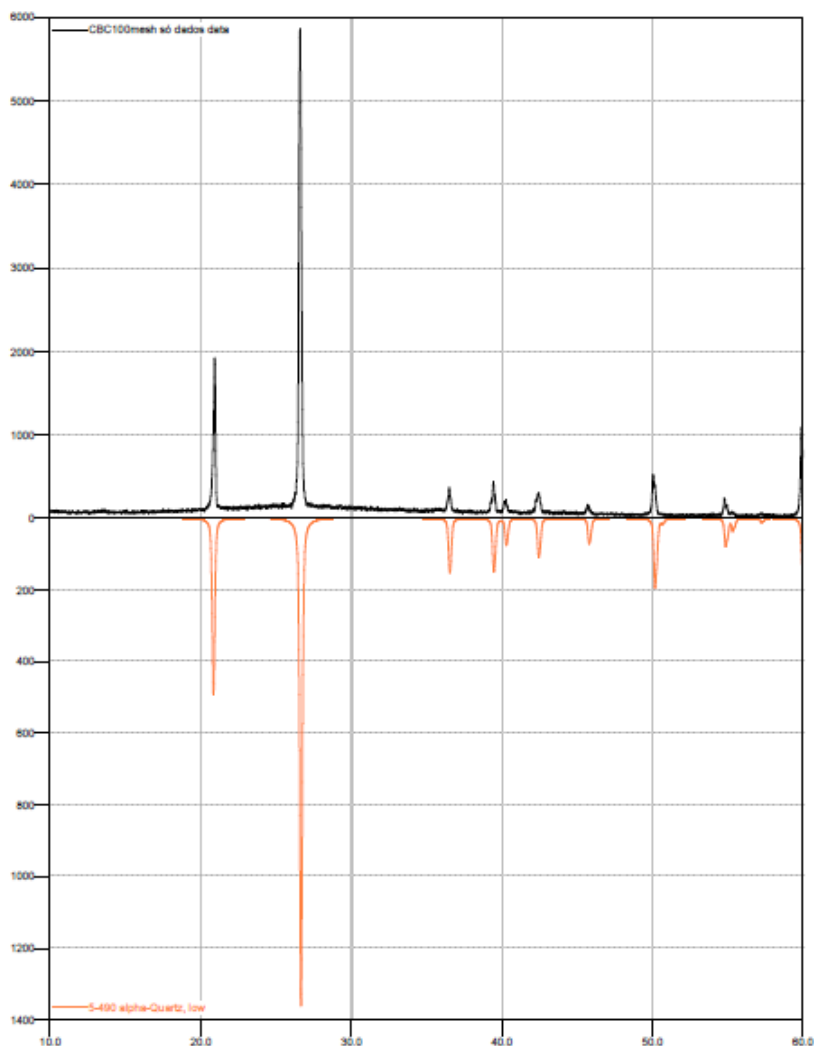
Fonte: O autor

Vale-se ressaltar que a fim de realizar o estudo estrutural nas diferentes granulometrias da cinza do bagaço de cana, realizou a técnica de difração

de raio-x no material retido nas peneiras de 100, 120 e 270 *mesh* onde o intuito era analisar a estrutura de cada uma dessas fases e assim identificar possíveis diferenças estruturais pela variação de granulometria.

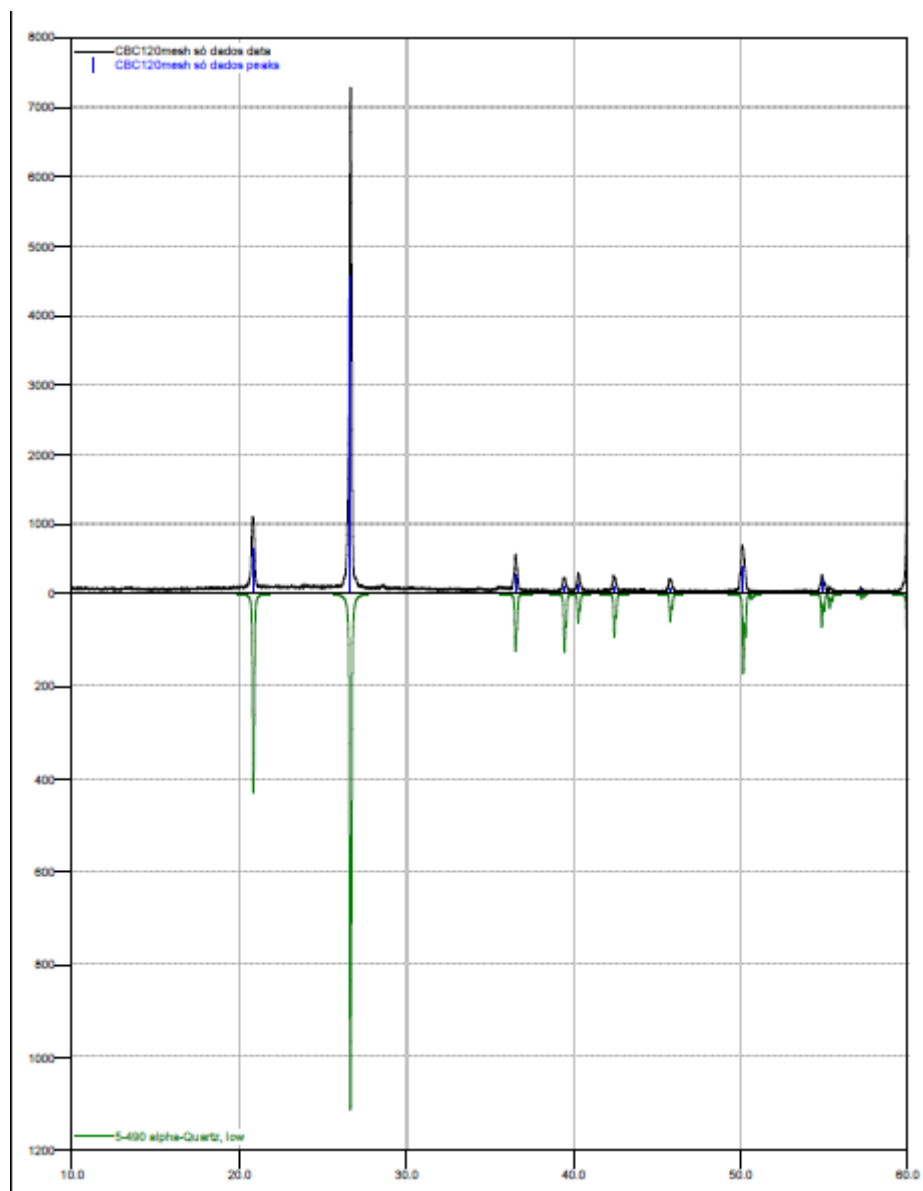
Nas figuras 13, 14 e 15 são apresentados os espectros de raio-x realizados nas cinzas retidas nas peneiras descritas acima.

Figura 13: Identificação da alta presença de alpha-quartzo utilizando difração de raio-x (DRX) na cinza do bagaço de cana retida na peneira de 100 mesh.



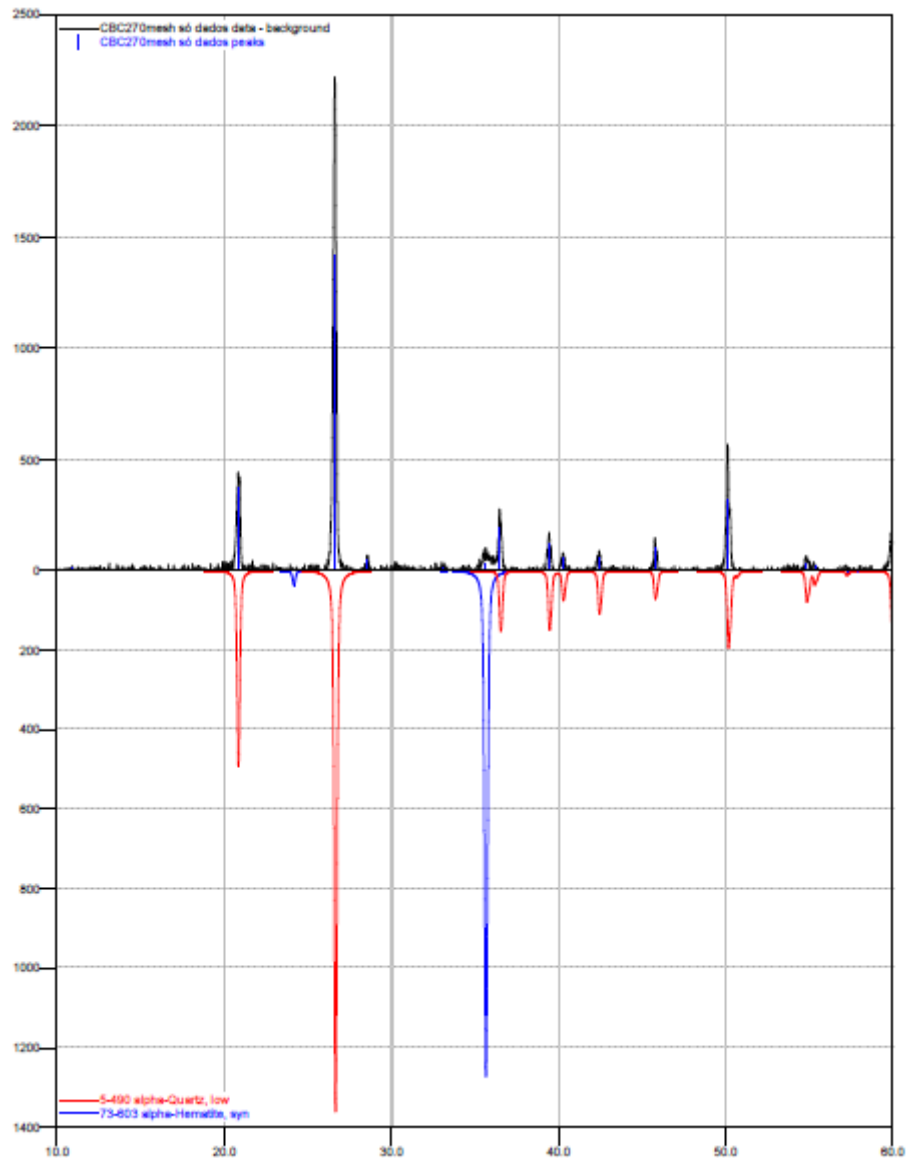
Fonte: O autor.

Figura 14: Identificação da alta presença de alpha-quartzo utilizando difração de raio-x (DRX) na cinza do bagaço de cana retida na peneira de 120 mesh.



Fonte: O autor.

Figura 15: Identificação da alta presença de alpha-quartzo e alpha- Hematita utilizando difração de raio-x (DRX) na cinza do bagaço de cana retida na peneira de 270 mesh.



Fonte: O autor.

Os espectros de difração de raios-x obtidos, e exibidos nas Figuras 14, 15 e 16, apresentam a composição da amostra de cinza do bagaço de cana (CBC) no estado sólido, sendo que a possível composição da mesma foi comparada com os dados indexados nas fichas do software, onde foi encontrado que as amostras desta cinza retidas nas peneiras de 100 e 120 mesh correspondem respectivamente a Alpha Quartzo, porém na peneira de 270 mesh obteve-se como pico a presença

de Alpha Hematita, confirmando a presença de minerais metálicos em sua composição.

Nas figuras 13, 14 e 15 pode-se observar que dentre as três granulometrias analisadas, a que possui os maiores teores Alpha Quartzo é a cinza retida na peneira de 100 e 120 mesh.

Observando as últimas três figuras nota-se também a presença de picos de intensidade baixas entre os halos de 10 a 20° para as três amostras, as quais estimam-se ser possíveis matérias orgânicas presentes na cinza devido o local de plantio, sendo que a fração que apresenta estes picos de forma mais evidente e com intensidade mais alta que as demais é a porção retida na peneira de 100 mesh.

3 CONCLUSÃO

Para esta primeira parte a qual optou-se evidenciar a preparação do compósito, realizou-se estudos bibliográficos com o intuito de obter informações e se aprofundar em temas que pertencem ao projeto, dentre eles os polímeros, borracha natural e a cinza do bagaço da cana, juntamente com a secagem e peneiramento do resíduo e preparação das amostras.

Vale ressaltar que era esperado que a fase de interesse de estudo estivesse presente na peneira de 100 mesh, devido à mesma possuir uma malha maior, assim assegurando as partículas fibrosas (carvão) em seu peneiramento. Porém também conclui-se com êxito que em suma a partícula que se destaca na composição da cinza do bagaço de cana é a de Alpha Quartzo, proveniente das lavouras as quais a cana de açúcar é cultivada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO E SANTOS. **O desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar no Brasil e sua relevância na economia nacional**. 2013. Artigo Científico. Disponível em: <file:///c:/users/user/downloads/37-189-1-pb.pdf>

BARRERA, G. **Compósitos preparados a partir de cinzas do bagaço de cana com elastômeros termoplásticos obtidos por meio da compatibilização do polietileno de baixa densidade com borracha natural**. Dissertação de Doutorado. 2016.

CINZA DE CANA NA CONSTRUÇÃO CIVIL. 2010. Disponível em: www.dgabc.com.br/Mobile/Noticia/203307/cinza-de-cana-na-construcao-civil

FÓRUM AMBIENTAL UMA VISÃO MULTIDISCIPLINAR DA QUESTÃO AMBIENTAL. **Aplicação da cinza pesada e leve da queima do bagaço de cana-de-açúcar em concretos, argamassas e pavers**.

JOHN, V.M., CINCOTTO, M.A., SILVA, M.G. "**Cinzas e aglomerantes alternativos**", In: Freire, W.J., Beraldo, A.L. (eds), *Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção*, 1 ed., capítulo 6, pp. 145-190. Campinas, SP, Editora da UNICAMP, 2003.

MACEDO, Pamela Camargo. **Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. 2009. 116 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/91450>.

MARCILIO, R. A. G. B. C., LAHR, F. A. R. **Emprego do bagaço da cana-de-açúcar (saccharum officinarum) e das folhas caulinares do bambu da espécie dendrocalamus giganteus na produção de chapas de partículas**. 2009. Artigo Científico. Disponível em: [http://www.fipai.org.br/minerva%2005\(03\)%2009.pdf](http://www.fipai.org.br/minerva%2005(03)%2009.pdf)

MULINARI, Daniella Regina. **Comportamento térmico, mecânico e morfológico dos compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibras de celulose do bagaço de cana de açúcar**. 2009. 111 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/106312>.

OLIVEIRA, A. F. STELLA. **Avaliação energética da biomassa do bagaço de cana-de-açúcar em diferentes indústrias sucroenergéticas**. 2014. 80 f. Dissertação de Mestrado Profissional em Produção – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

OZORIO, MAIZA DA SILVA; PRADO DOS REIS, ELTON APARECIDO; TEIXEIRA, SILVIO RAINHO; BELLUCCI, FELIPE SILVA; JOB, ALDO ELOIZO. **Sugarcane Bagasse Ash as a Reinforcing Filler in Thermoplastic Elastomers: Structural and Mechanical Characterizations**. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 132, n. 7 FEB 15 2015. Citações Web of Science: 2.

OZÓRIO. M; REIS. E; JOB. A. **Estudo estrutural e morfológico da cinza do bagaço da cana de açúcar para produção de compósitos poliméricos**.

PAULA, M. O. **Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento portland**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2008.

REIS, Elton Aparecido Prado dos. **Preparação e caracterização de compósitos obtidos a partir de borracha natural com raspa de couro visando aplicações industriais**. 2010. 112 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/99697>>.

RODRIGUES. **Avaliação da utilização do bagaço de cana-de-açúcar na alimentação de bovinos**. *Revista Nutri Time*, 2015.

SOFIA ARAÚJO LIMA, ALMIR SALES, JULIANA PETERMANN MORETTI, FERNANDO DO COUTO ROSA ALMEIDA, TIAGO JOSÉ DOS SANTOS. **Caracterização de concretos confeccionados com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar**. Artigo Científico. 2010. Disponível em: http://www.edutecne.utn.edu.ar/cinpar_2010/Topico%203/CINPAR%20070.pdf