



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS PENEDO  
CURSO TÉCNICO SUBSEQUENTE EM QUÍMICA**

**NAIANE DE JESUS DA SILVA**

**CIMENTO: PROCESSO PRODUTIVO, IMPACTOS AMBIENTAIS E ADIÇÕES DE  
CINZAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**PENEDO, AL  
2022**

NAIANE DE JEUS DA SILVA

**CIMENTO: PROCESSO PRODUTIVO, IMPACTOS AMBIENTAIS E ADIÇÕES DE  
CINZAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico Subsequente em Química do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Química.

Orientador (a): Taciana do nascimento santos

**PENEDO, AL  
2022**



**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**Instituto Federal de Alagoas**  
**Campus Penedo**  
**Biblioteca**

---

S586c

Silva, Naiane de Jesus da.

Cimento: processo produtivo, impactos ambientais e adições de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar/ Naiane de Jesus da Silva. – 2022.

19f. : il.

Orientação: Prof.<sup>a</sup> Taciana do Nascimento Santos.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico de Nível Médio Subsequente em Química) – Instituto Federal de Alagoas, Campus Penedo, Penedo, 2022.

Trabalho acadêmico em versão digital.

1. Cimento - Produção. 2. Cinzas do bagaço - Cana-de-açúcar. 3. Sustentabilidade. 4. Resíduos – Reaproveitamento. I. Santos, Taciana do Nascimento. II. Título.

CDD: 693.5

---

**Maria Luzia Alexandre de Oliveira**  
**Bibliotecária/Documentalista**  
**CRB-4/2159**

NAIANE DE JESUS DA SILVA

**CIMENTO: PROCESSO PRODUTIVO, IMPACTOS AMBIENTAIS E ADIÇÕES DE  
CINZAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico Subsequente em Química do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Química.

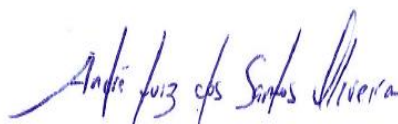
APROVADO(A) EM: 18 / 04 / 2022.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Taciana do Nascimento Santos (orientadora)  
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



---

Prof. Me. André Luiz dos Santos Oliveira  
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



---

Prof. Dr. Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha  
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

## **CIMENTO: PROCESSO PRODUTIVO, IMPACTOS AMBIENTAIS E ADIÇÕES DE CINZAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

### **CEMENT: PRODUCTION PROCESS, ENVIRONMENTAL IMPACTS, AND THE USE OF SUGARCANE BAGASSE ASH**

**Silva, Naiane de Jesus<sup>1</sup>; Santos, Taciana do Nascimento<sup>2</sup>**

#### **RESUMO**

Atualmente a busca por alternativa sustentável para minimizar os impactos do meio ambiente gerados pela produção de cimento vem crescendo a cada dia com o aumento de novas tecnologias e da ciência. O cimento em questão é um pó fino com propriedades aglomerantes ou ligantes, cuja matéria prima é o calcário e argila, o cimento também é um produto de alta durabilidade quando misturado com brita e areia originando em um produto importante para construção civil denominado concreto. O concreto é o material mais utilizado do mundo ficando atrás apenas da água sendo responsável também por parte da economia do país devido seu grande consumo nacional e internacional, assim com a extração da matéria prima e produção de cimento são gerados impactos negativos ao meio ambiente como a emissão de CO<sub>2</sub>. Para cada tonelada de cimento fabricado é emitido cerca de 700kg de dióxido de carbono na atmosfera em seu processo de produção, diante disto com o avanço da tecnologia e desenvolvimento de indústrias, foram criadas técnicas sustentáveis para minimizar esses impactos, como a adição de minerais ao cimento. A adição de minerais é uma possível solução viável para diminuir a emissão de CO<sub>2</sub>, pois reduz a quantidade de clínquer (produto granulado que surge após a queima de calcário misturado com argila) utilizado na fabricação do cimento, como adição de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar que tem um alto teor pozolânico podendo ser aplicado como substituto parcial do cimento. Vale ressaltar que os concretos produzidos a partir da substituição parcial do cimento podem apresentar características melhores do que os concretos comuns, como durabilidade e rigidez, portanto segundo estudo da literatura é possível verificar que além de minimizar a emissão de poluentes, também é uma alternativa de qualidade proveniente ao cimento que resulta em um produto que está ganhando rapidamente o mercado industrial no Brasil.

**Palavras-chave:** Cimento Portland; Reaproveitamento de resíduos; Sustentabilidade; Cinzas.

---

<sup>1</sup> Aluna do Curso Técnico Subsequente em Química/ IFAL, e-mail: njs2@aluno.ifal.edu.br

<sup>2</sup> Professora orientadora do Curso Técnico Subsequente em Química

## **ABSTRACT**

Currently the search for sustainable alternatives to minimize the environmental impacts environment impacts generated by cement production is growing every day with the increase of new technologies and science. The cement in question is a fine powder with binding properties or binders, whose raw material is limestone and clay cement is also a product of high durability when mixed with gravel and sand resulting in an important product for construction being the concrete. concrete is the most used material in the world being second only to water and is also responsible for part of the country's economy due to its large national and international consumption, so with the extraction of raw materials and cement production are generated negative impacts on the environment as the emission of CO<sub>2</sub>. For each ton of cement manufactured about 700kg of carbon oxide are emitted into the atmosphere during the production process. With the advancement of technology and industrial development, sustainable techniques were created to minimize these impacts, such as the addition of minerals to cement. The addition of minerals is a possible viable solution to reduce CO<sub>2</sub> emissions, because it reduces the amount of clinker used in the manufacture of cement, such as the addition of sugar cane bagasse ash, which has a high polyozone content and can be applied as a partial substitute for cement. It is noteworthy that the concretes produced from the partial replacement of cement can present better characteristics than ordinary concrete, such as durability and stiffness, so based on a comparative study of the works of different authors it is possible to verify that in addition to minimizing the emission of pollutants, it is also a quality alternative to cement that results in a product that is rapidly gaining the industrial market in Brazil.

**Keywords:** Cement Portland; Waste reuse; Sustainability; Ash.

## 1 INTRODUÇÃO

A origem do cimento se deu a cerca de 4.500 anos, e seu desenvolvimento industrial começou a surgir em meados de 1780, quando pesquisadores desenvolveram um método para obter cimento hidráulico (cimento com resistência a água). Em 1830 o inglês Joseph Aspdin patenteou o processo de fabricação de um material ligante resultado da mistura e processamento de calcário e argila conhecido mundialmente como “cimento Portland”. O nome se deve às suas características, que são semelhantes a uma grande pedra esquadrejada na ilha Portland (SNIC 50ANOS, 2006). A partir daí seu consumo e comercialização começou a crescer abundantemente e apesar de ter revolucionado a construção civil, e ajudado no progresso da humanidade, o cimento tradicional é um dos grandes vilões para o futuro do planeta, pois ocasiona degradação ambiental em seu processo de produção, desde a extração da matéria prima.

Atualmente, a construção civil é uma das atividades com maior impacto no meio ambiente, emitindo grandes quantidades de poluentes, e gerando uma grande quantidade de resíduos sólidos. Tendo em vista que o cimento é um dos principais materiais de construção, possuindo um elevado consumo mundial e sendo o produto mais consumido da terra ficando atrás apenas da água, trata-se de um elemento essencial para a construção civil. Segundo Londero (2016), na sua produção, o cimento seria responsável por cerca de 7% das emissões de gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Tomando como base a argumentação de Laruccia (2014), que diz que “as construções civis são de caráter importante para o âmbito econômico e social, contribuindo para o desenvolvimento do país” e que o cimento é um produto de extrema utilização, uma vez que a maioria das obras necessita desse material para serem realizadas, faz-se necessário estudar esse setor industrial, a fim de aprimorar seus equipamentos e técnicas de processamento, a fim de gerar menos danos ambientais (LARUCCIA, 2014, pag.2; SNIC.ORG, 2006).

Na década de 50 as empresas só buscavam atingir seus lucros sem se importar com o dano que elas causariam a sociedade. Porém esse pensamento mudou quando começaram a entender a importância de se tornarem ecologicamente corretas, agregando valor aos seus produtos, garantindo uma imagem positiva na sociedade (YEMAL *et al.*, 2011). esse entendimento foi induzido

também por questões mundiais (acordos e tratados) sendo aplicadas a empresas que não se preocupasse com meio ambiente.

No entendimento de Braga *et al.* (2005), "o desenvolvimento sustentável deve atender às necessidades da geração presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades".

Nesse sentido, a partir de novos planejamentos produtivos e utilização de novos recursos é possível a fabricação de um produto mais sustentável. No caso do cimento, a tecnologia pode ser aprimorada para a fabricação de cimento ecológico, utilizando aditivos alternativos como as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar para diminuir a emissão de CO<sub>2</sub>. Com o cimento produzido a partir das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, pode-se minimizar os impactos ambientais sem comprometer o sistema capitalista das indústrias que tem no seu currículo esse tipo produto.

Diante deste contexto, o objetivo deste trabalho foi apresentar, através de uma revisão bibliográfica, o processo de produção de cimento e a alternativa sustentável de utilização das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar como uma opção viável de aditivo ao cimento, minimizando os impactos ambientais de sua produção. Foram identificados fatores que levam a utilização das cinzas na fabricação do cimento, suas vantagens e desvantagens, enfatizando suas características, seus principais impactos ambientais e questões econômicas relacionadas.

## **2 INDÚSTRIA DO CIMENTO**

### **2.1 CONTEXTO HISTÓRICO**

Em seu contexto histórico, a palavra cimento vem do latim *caementu* que na antiga Roma designava uma espécie de pedra natural quebrada. Sua origem se deu a 4.500 anos, e os monumentos do Egito antigo já utilizavam uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado. Assim, grandes obras gregas e romanas, como o Panteão e o Coliseu, que foram construídas com o uso de solos de origem vulcânica da ilha grega de Santorini, possuíam propriedades de endurecimento sob a ação da água, tal qual o cimento atual.

A história de sua evolução começa um pouco antes do século XVIII, porém se concretiza no meado de 1780 quando cientistas e pesquisadores descobrem uma forma de desenvolver o cimento hidráulico (cimento comum, utilizado em aplicações que precisam de resistência à água). Apenas entre 1780 e 1829 foi que o cimento

obteve fórmulas e denominações diferentes como “cimento romano” e “cimento britânico”.

Em 1830 o inglês Joseph Aspadin patenteou o processo de fabricação do produto conhecido até hoje mundialmente por “cimento Portland”. Conforme o relatório do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC.ORG, 2011), o cimento Portland é um produto industrial integrado, obtido a partir da lavra e do beneficiamento de calcário e argila: sua industrialização ocorre mediante moagem, homogeneização e produção da farinha (mistura crua), e posterior processamento físico-químico em clínquer (cimento não pulverizado) e respectiva moagem.

Segundo o relatório SNIC (2011), no Brasil as primeiras iniciativas para a fabricação de cimento ocorreram no final do século XIX, e partir daí começou a ser produzido em escala industrial. Nesta época o Brasil importava cerca de 40 toneladas de cimento da Europa, e como a tarifa de importação era de 30% isso abriu um grande caminho para os empreendedores brasileiros concretizarem seus sonhos de instalar uma indústria no Brasil. O primeiro a produzir cimento no Brasil foi o engenheiro Louis Nóbrega, por um período de três meses, no ano de 1892. Várias outras iniciativas de fabricação do cimento no Brasil foram desenvolvidas, no entanto, sem sucesso, como: a Usina Rodovalho, que funcionou até 1904 e foi extinta 1918; a fábrica Cimento Monte Líbano, que em sua fase primitiva nem chegou a funcionar regularmente (SNIC 50 ANOS, 2006).

Em 1926 o Brasil importava de diversos países cerca de 97% do cimento que consumia. Nesta época a importação chegava a 400 mil toneladas, enquanto a produção local não passava de 13 mil toneladas. A indústria nacional encontrava grande dificuldade para competir com o produto importado, devido ao seu alto custo de produção. O Brasil não poderia depender mais das importações, considerando suas abundantes reservas minerais. Assim, logo após um conjunto de fatores políticos e econômicos, foi estimulado o surgimento de várias indústrias, que começaram a crescer gradativamente. Entretanto, segundo Paiva (2019), as indústrias se estabeleceram definitivamente após a segunda década do século XX, quando começou a era industrial, e desde então vem se desenvolvendo.

Esse produto é o componente básico do concreto, que hoje é o segundo material mais utilizado pelo homem, não só pelo seu baixo custo, mas também pela facilidade de execução, (SNIC 50 ANOS, 2006) com base nas pesquisas, é possível

notar como o consumo afeta direta e indiretamente no desenvolvimento econômico das indústrias.

## 2.2 DADOS DO SETOR

Segundo o panorama mundial, em 2013 a indústria de cimento estava distribuída por todo os países do mundo, com capacidade de produção marcantes em empresas locais e com grupos internacionais obtendo um bom desempenho global. A produção mundial do cimento em 2013 atingiu cerca de 4.000 Mton (milhão de toneladas), tendo um crescimento de 8,1% comparado a 2012, quando foram fabricados cerca de 3.700 Mton. Na Tabela 1, com base nos dados do relatório do sindicato nacional da indústria do cimento (SNIC, 2013), são apresentados os maiores produtores de cimento do mundo.

TABELA 1- Maiores produtores cimento no mundo em 2011

<b>Posição</b>	<b>País</b>	<b>Capacidade (Mt)</b>
<b>1</b>	China	1452
<b>2</b>	Índia	301
<b>3</b>	EUA (inclui Puerto Rico)	114
<b>4</b>	Turquia	82
<b>5</b>	Rússia	80
<b>6</b>	Vietnã	73
<b>7</b>	Irã	71
<b>8</b>	Japão	70
<b>9</b>	Brasil	69
<b>10</b>	Paquistão	65

Fonte: cimento.org (2013)

Com base na Tabela 1 é possível observar a China, Índia e EUA ocupando o lugar no *ranking* de maiores produtores de cimento no mundo, e o Brasil nesse caso ocupa o nono lugar pois a maior preocupação do Brasil não era a produção e sim a exportação desse material que por sua vez existia uma controversa com o custo de

exportação, por ser maior que a produção local. No então não se trata de uma surpresa, dada a vastidão dos países citados. Com a evolução mundial do cimento, os países americanos e a Oceania apresentaram uma estabilidade. Enquanto isso, a Europa apresentou uma certa decadência nos últimos anos, consequência da grave crise econômica que afeta alguns de seus países. Com os dados presente no site [cimento.org](http://cimento.org) pode-se dizer que o mercado mundial de cimento é de uma capacidade tão alta que movimentada cerca de US\$ 250 bilhões de dólares/ano, sem contar com a China, que é responsável por mais da metade da produção e do consumo mundial, sendo abastecida, praticamente, por alguns dos maiores produtores de cimento do mundo como a estatal chinesa CNBM (China Nacional Building Material), que é a maior produtora de cimento do mundo, com capacidade instalada de 343 milhões de toneladas de cimento por ano. Seis das 10 maiores empresas produtoras de cimento são chinesas e, de acordo com os argumentos citados, o cimento, assim como o petróleo ou o aço, é uma das mercadorias essenciais para o crescimento econômico do país.

### 2.3 PRODUÇÃO DE CIMENTO PORTLAND

Segundo o relatório da indústria brasileira do cimento (2012), o processo produtivo do cimento é, resumidamente, uma combinação de exploração e beneficiamento de substâncias minerais não metálicas, ocorrendo uma transformação química em clínquer (produto intermediário do cimento). Essas e etapas seguintes de produção do cimento podem ser observadas na Figura 1.

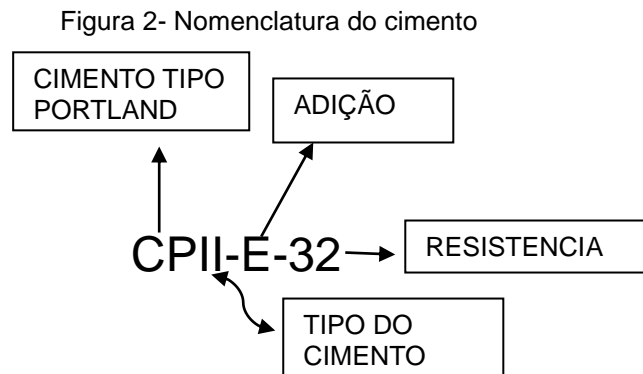
Figura 1- Fluxograma de produção do cimento



Fonte: cimentomaua (2020)

A matéria-prima da fabricação do cimento é obtida por meio da extração do calcário e argila, extraído da jazida subterrânea ou a céu aberto, após a extração, o calcário vai para a britagem, etapa que as rochas de calcário são reduzidas a fragmentos de aproximadamente 2,5 - 8 cm. E em seguida é armazenada no pátio, onde ocorre a chamada pré-homogeneização, no pré-homogeneizador, é feita a preparação dessas matérias-primas. Logo em seguida o produto pre-homogeneizado é transportado para os moinhos, no moinho elas se transformam em uma farinha denominada de "cru". No processo de moagem ocorre o aditivo de outros materiais para obter as quantidades pretendidas dos compostos que constituem o "cru" (cálcio, sílica, alumínio e ferro, dando início à homogeneização). Assim a "farinha" vai para a clinquerização, que é a queima. Para isso, ela passa pelo pré-aquecedor e pelo forno – auxiliado pelo moinho de carvão e óleo – até formar o clínquer, que é o produto granulado que surge após a queima de calcário misturado com argila e pode receber adições como gesso, pozolana (a pozolana é um dos componentes do cimento utilizada na preparação de argamassas) calcário e escória. Das adições é feita a moagem de cimento, a partir dos separadores dos componentes minerais. Armazenado em silos, os silos de cimento são os locais onde o material, já pronto, é armazenado até deixar a fábrica. Por fim no próprio silo o cimento já sai para o ensacamento, com os sacos prontos o cimento é então comercializado.

O cimento produzido tem variações em sua composição, sendo classificado em diversos tipos. A nomenclatura, para distinguir entre os diversos tipos de cimento e suas características específicas, pode ser observado na Figura 2.



Fonte: guidaengenharia.com (2022)

De um modo resumido, os cimentos comumente disponíveis no mercado são os seguintes: cimento comum, cimento composto, de alto forno, pozolânico e de alta resistência inicial (ARI) (Figura 3).

Figura 3 – Principais tipos de cimento

<b>COMUM</b>	CP I	Comum
	CP I-S	Comum com adição
<b>COMPOSTO</b>	CP II-E	Com adição de escória granulada de alto forno
	CP II-Z	Com adição de pozolana
	CP II-F	Com adição de fíler
<b>ALTO FORNO</b>	CP III	Até 70% de escória granulada de alto-forno
<b>POZOLÂNICO</b>	CP IV	Até 50% de pozolana
<b>A.R.I</b>	CP V-ARI	95% ~100% clínquer (moagem mais fina)

Fonte: guida engenharia (2022)

## 2.4 ASPECTOS AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

Com o aumento gradativo do consumo de cimento Portland em território nacional e no mundo ocorreu, conseqüentemente, a geração de grandes impactos ambientais. No entanto, pode-se dizer que, com o passar dos anos, cada vez mais têm-se buscado construir de maneira ecologicamente correta e sustentável, com produção limpa, baixo impacto e com a redução de resíduos gerados na construção civil (CARDOSO; DETRO; CANGIOLIERI JÚNIOR, 2011). Considerando que o cimento é o principal produto em uma construção civil, e por outro lado ele é responsável por alguns impactos ambientais, pois é composto basicamente por silicatos de cálcio, e calcária como principal matéria prima, contribuindo cerca de 85 a 95% na fabricação do clínquer, que por sua vez o clínquer é produzido a partir da queima de uma mistura principal de calcário e argila ou outros materiais com composições similares a uma temperatura de cerca de 1450 °C, e então é misturado com gesso e moído para produzir o cimento Portland (TAYLOR, 1990), pode-se observar que esse processo de produção de cimento gera vários problemas relacionados à sustentabilidade, como a redução das jazidas de matérias primas e o aumento de emissão de CO<sub>2</sub> e de consumo de energia.

Segundo Maury e Blumenschein (2012), a indústria do cimento é responsável por cerca de 3% das emissões mundiais de gases de efeito estufa e por aproximadamente 5% das emissões de CO<sub>2</sub> e, deste modo. nas emissões específicas da indústria do cimento, aproximadamente 50% referem-se ao processo produtivo, cerca de 5% ao transporte, e 5% ao uso da eletricidade e os outros 40% ao processo de clínquerização (WBCSD, 2002).

Referente aos argumentos citados, no entanto com base nos estudos de Londero (2016), a autora relata que com o passar dos anos com a melhoria do processo de produção e estudos possa reduzir o consumo do clínquer, e conseqüentemente reduzir emissão de CO<sub>2</sub> em até 12% com estimativa para 2025.

Considerando-se que o cimento é um material de suma importância para economia, com seu alto consumo, vale ressaltar que tamanha produção gera bastante impactos negativos no meio ambiente, pois pensando nisso grandes indústrias começaram a desenvolver alternativas sustentáveis, no intuito de minimizar seus impactos industriais, pois as indústrias cimenteiras são relacionadas também a um alto consumo energético.

A crescente preocupação com o meio ambiente tem gerado a busca por processos produtivos mais sustentáveis, no intuito de promover a redução de energia e emissão de dióxido de carbono. Portanto, foi necessário estimular pesquisas mundiais para a redução de emissão por parte da indústria cimenteira, pois é relacionada também a um alto consumo energético (VAN OSS; PADOVANI, 2003; HABERT *et al.*, 2010; SCHNEIDER *et al.*, 2011; BENHELAL *et al.*, 2013). No entanto, vale ressaltar que a indústria brasileira de cimento é a mais sustentável do mundo segundo o site [cimento.org](http://cimento.org), as indústrias brasileiras emitem menos de 30% de CO<sub>2</sub> que é a média global, assim de acordo com Borges *et al.* (2014) já existe tecnologia que busca redução de energia e emissões durante o processo produtivo do cimento.

#### **2.4.1 Alternativas sustentáveis de produção**

Para diminuição os impactos ambientais na produção de cimento, uma alternativa seria a implementação de novos equipamentos para diminuir a energia elétrica, como moinho. A implantação dessa tecnologia é liderada pela própria fábrica de cimento, no entanto essa alternativa tecnológica contém limitações, pois dificulta em seu alto desempenho, como por exemplo requerer uma moagem muito fina, logo necessita de mais energia. Assim, o chefe dos laboratórios da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Battagin (2009), relata, que a grande diferença entre os cimentos brasileiro e globais está relacionada com a redução do clínquer, que é uma mistura de calcário e argila que é altamente poluente. Pensando disso foi elaborado uma segunda alternativa viável de minimização de impactos ambientais: a adição de minerais ao cimento.

É uma possível solução viável para diminuir a emissão de CO<sub>2</sub>, pois reduz a quantidade de clínquer utilizado na fabricação do cimento, utilizando adições minerais. Essa alternativa talvez seja a mais antiga (BORGES *et al.*, 2014) deste modo, as adições minerais são compostas por material inorgânico as adições podem ser classificadas em dois grupos: adições minerais quimicamente ativas e inativas. Sendo assim, o primeiro grupo é composto por materiais que não necessitam de hidróxido de cálcio, para formar compostos aglomerantes hidratados, como por exemplo, a escória de alto-forno. Já o segundo grupo inclui materiais que reagem

quimicamente com o hidróxido de cálcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , na presença de água, como por exemplo cinzas volantes de biomassa (matéria orgânica de origem vegetal).

Neste contexto Cordeiro *et al.* (2008) afirmam que a cinza volante do bagaço de cana-de-açúcar tem potencial para ser utilizada como adição mineral, substituindo parte do cimento em argamassas e concretos.

#### 2.4.2 Cinzas da cana-de-açúcar na produção de cimento Portland

A cana-de-açúcar é uma planta fina de formato cilíndrico, folhas grandes e pode alcançar até seis metros de altura, chegou em 1520 no Brasil, logo após os portugueses. Então através dessa planta se obtém subprodutos essenciais para economia mundial como açúcar, parte indispensável da alimentação humana, e o álcool utilizado nas bebidas alcoólicas como a cachaça, vinhaça e produzindo também o etanol para abastecer combustível, bagaço, levedura seca e partículas de cinza (AQUINO *et al.*, 2014).

Segundo o site [investe.sp.gov.br](http://investe.sp.gov.br), o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. No entanto, em seu processo de moagem resulta em toneladas de bagaço de cana-açúcar e essa biomassa produzida é essencial para produção de energia por meio da queima, (substitui o óleo combustível no processo de aquecimento das caldeiras) que são incinerados em caldeiras para produção de vapor, produzindo assim também grandes volumes de cinzas (KLEPA, ROGERIO BONETTE, 2017). Na Figura 4 encontram-se os produtos gerados a partir da cana-de-açúcar.

Figura 4 – Ciclo de geração de resíduos da cana-de-açúcar



O processo de geração das cinzas é feito através de seis etapas: inicia pela moagem da cana, que é feita após a colheita mecanizada ou manual e transporte ao setor industrial, passa pela lavagem para retirar impurezas, desfibramento e em seguida enviada as moendas para extração do caldo. Só depois da moagem resulta no bagaço que, ainda úmido, é transportado para depósitos a céu aberto e lá permanecem até sua queima em caldeiras, ou venda para outro setor. No entanto, caso seja queimado em caldeiras irá resultar na geração de cinzas residuais (NUNES, 2009). São gerados dois tipos de cinzas através da sua combustão, segundo Prado *et al.* (2020), que são as cinzas geradas na caldeira e as cinzas volantes. No entanto, as cinzas volantes são partículas finas que saem junto com os gases capturados na chaminé, geralmente através de filtro antes de liberar no ambiente. Por outro lado, as cinzas de caldeiras são os resíduos produzidos em grande quantidade como utilização de alternativas sustentável do concreto.

De acordo com Moraes-Filho (2019) as cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) são resíduos industriais que podem ser aproveitados nas indústrias de construção civil, após passar por modificações físicas e químicas que assim potencializam suas propriedades mecânicas. Por outro lado, devido a suas características apresentadas, a CBC é classificada como um resíduo sólido de categoria rural e natureza de classe II (não inertes) segundo a ABNT NBR 10004:2004.

As cinzas do bagaço da cana-de-açúcar são utilizadas para melhorar propriedades mecânicas e de durabilidade das argamassas (MATOS *et al.*, 2021), assim como também são utilizadas nas lavouras de cana como adubação, apesar de terem um baixo teor de nutrientes, segundo Lima (2011). Prado *et al.* (2020) relataram que as cinzas são atualmente utilizadas na construção civil, sendo uma alternativa atraente e viável para substituição de areia ou partir do cimento Portland como adição dessa biomassa.

Através de análise de ensaios de resistência em cilindros de concretos em um período de 7 a 28 dias, pode-se observar que é possível uma substituição de cerca de 30% do cimento Portland por cinzas, tornando possível, em termo de resistência desde a mistura com a água, areia e cimento, a fabricação do concreto ecológico (LOPES *et al.*, 2014).

No entanto, a cinza poderá apresentar atividade pozolânica (reação entre a adição mineral e o hidróxido de cálcio,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), se as temperaturas e condições de queima do bagaço forem controladas mantendo suas propriedades possibilitando o seu uso em concreto com finalidade cimentícia, pois o elemento dominante das cinzas é dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ). A sílica ou silicato de alumínio pode estar em condição favorável às reações pozolânicas em seu estado amorfo (substância não cristalina) no entanto esse estado pode reagir com hidróxido de cálcio e formar silicatos de cálcio hidratados que está direcionado a resistência mecânica do concreto. Desta forma, com base nas opiniões dos autores é possível elaborar um estudo para a utilização desta CBC em concreto e demais produtos sustentáveis.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria brasileira de cimento é fundamental para o setor da construção civil e é a mais sustentável do mundo, emitindo menos 30% de  $\text{CO}_2$  que a média global. Apesar disso, gera impactos ambientais negativos ao meio ambiente devido as emissões de  $\text{CO}_2$  em seu processo produtivo. Com o aumento da tecnologia é possível desenvolver técnicas de produção mais sustentáveis, sendo o uso das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar uma alternativa viável. Por ter um alto teor de sílica, podem ser usadas como adição ao cimento, minimizando os impactos ambientais na produção do cimento, mantendo as características de resistência mecânica similares com a do cimento produzido sem o uso do aditivo.

### REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10004:2004. Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

AQUINO, A. F., Bidô, É. S., GALVAO, M. L. D. M., & Oliveira, V. N. (2014). O etanol da cana de açúcar: possibilidades energéticas da região de Ceará-Mirim-RN. *Holos*, 1, 105-125.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. (2009) Uma breve história do cimento Portland. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo. Disponível em [www.abcp.com.br](http://www.abcp.com.br) acesso em: 12 de fevereiro de 2022.

BENHELAL, Emad, Zahedi, Gholamreza; Shamsaei, Ezzatollah; Bahadori, Alireza. Estratégia e potenciais globais para reduzir as emissões de  $\text{CO}_2$  na indústria cimenteira. **Revista de produção mais limpa**, v. 51, pág. 142-161, 2013

BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J. G., BARROS, M. T., SPENCER, M., PORTO, Barros, Mario Thadeu leme de; veras, júnior; Milton, Spencer, 2005. **Introdução à Engenharia Ambiental – O desafio do desenvolvimento Sustentável** (2ª ed.). São Paulo: Prentice Hall

BORGES, P. H. R., Lourenço, T. M. D. F., Foureaux, A. F. S., & Pacheco, L. S. Estudo comparativo da análise de ciclo de vida de concretos geopolimérico e de concretos à base de cimento Portland composto (CP II). *Ambiente Construído*, pag.3 (2014).

CARDOSO, R. R.; DETRO, S. P.; CANGIOLIERI JÚNIOR, O. Uma visão tecnológica sobre o desenvolvimento de produtos e a sustentabilidade. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO**, 8. 2011, Porto Alegre.

CASTRO, Tainara Rigotti de; MARTINS, Carlos Humberto. **Avaliação da adição de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar em argamassas mistas. Ambiente Construído**, v. 16, p. 137-151, 2016.

CIMENTO.ORG. **Cimento no mundo** Disponível em:< <https://cimento.org/cimento-no-mundo-2013/>>. Acesso em: 04 de mar de 2022

CIMENTO MAUA. **Cimento como feito, composição e nomenclatura** Disponível em:< [https://cimentomaua.com.br/cimento-como-feito-composicao-e-nomenclatura/?fb\\_comment\\_id=1806861512721198\\_3372002209540446/](https://cimentomaua.com.br/cimento-como-feito-composicao-e-nomenclatura/?fb_comment_id=1806861512721198_3372002209540446/)>. Acesso em: 10 de fev de 2022

CIMENTO SUSTENTAVEL. **Benefício ao utiliza-lo** Disponível em: < <https://reformweb.com.br/blog/post/148/Cimento-sustentavel/>>. Acesso 05 de abri de 2022

CORDEIRO, GC, Toledo Filho, RD, Tavares, LM, & Fairbairn, EMR (2008). **Atividade pozolânica e efeito de carga da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em cimento Portland e argamassa de cal. Compósitos de cimento e concreto**, 30 (5), 410-418.

HABERT, G.; DE LACAILLERIE, JB D.'Espinosa; ROUSSEL, Njj. Uma avaliação ambiental da produção de concreto à base de geopolímeros: revisando as tendências atuais de pesquisa. **Revista de produção mais limpa**, v. 19, n. 11, pág. 1229-1238, 2011.

INSTITUTO BANCOR BRAS. **CONCRETOECOLOGICO** Disponível em:< [www.institutobancorbras.org.br/posts/dica/159-o-concreto-ecologico-e-seus-beneficios-pa/](http://www.institutobancorbras.org.br/posts/dica/159-o-concreto-ecologico-e-seus-beneficios-pa/)>. Acesso em 28/04/2022

INTERCEMENT.COM Processos de fabricação de cimento Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=MvJ4TxS2icg/>>. Acesso em:05 de abr de 2022

JUNIOR, ARRUDA EULER SANTOS **Cimentos de baixo impacto ambiental (LC3) a partir dos resíduos caulínicos da Amazônia**. 2020.

KLEPA, ROGERIO BONETTE. **Cinza a partir do bagaço da cana-de-açúcar reutilizada como parte integrante em argamassas e concretos na indústria civil.** 2017.

LIMA, SOFIA ARAUJO; SALES, ALMIR; ALMEIDA, F.C.R; MERETTI, JULIANA PERMANN; PORTELLA, KLEBER FRANKE. **Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão.** Ambiente Construído, v. 11, n. 2, p. 201-212, 2011.

LONDEIRO, CAROLINA. **Dosagem de concreto ecológico com base em empacotamento de articulars,** 2016.

LOPES, C.S BARBARA; ELALIBERA, R. G., Sarmiento, A. P.; & de Brito, A. F. S. (2014) **Análise d. a viabilidade da utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar como substituição parcial do cimento Portland.** REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v9 n.3

MATOS, W.E.C; SILVA, H.J.B; DA PAZ, G.M; SANTOS, V.B. **Utilização de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar como material de preenchimento estrutural ou pozolânico para a produção de argamassas cimentícias: uma revisão.** Revista Matéria, v. 26, n. 4.

MAURY, Maria Beatriz; BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves. **Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente.** 2012.

MORAES FILHO, Arnaldo Alberto de. **Análise do potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição parcial ao cimento portland para produção de placas cimentícias sustentáveis.** 2019.

NUNES, Igor Henrique Silva. **Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção.** 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá.

PAIVA, Jonas Medeiros de. **Avaliação do controle de qualidade da matéria prima na fabricação de cimento Portland.** 2019.

PRADO, K. C. A.; OLIVEIRA, A. L. R.; SILVA, S. M. C. **GESTÃO E USO DE CINZAS VEGETAIS PROVENIENTES DA QUEIMA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CALDEIRAS.** Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais, v.9, n.3, p.315-328, 2020.

Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, ABNT, 2004. Acesso em 20 de março de 2022

RELATORIO- **indústria brasileira de cimento Base para a construção do desenvolvimento,** 2012.brasilia, Disponível em: <<http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo18/2013/09/23/4970/20131002162355200901e.pdf>>. Acesso em 02 de mar de 2022

**RESEACH. Uma Visão Tecnológica sobre o Desenvolvimento de Produtos e Sustentabilidade** Disponível

em:[https://www.researchgate.net/publication/280882943\\_Uma\\_Visao\\_Tecnologica\\_sobre\\_o\\_Developolvimento\\_de\\_Produtos\\_e\\_a\\_Sustentabilidade/](https://www.researchgate.net/publication/280882943_Uma_Visao_Tecnologica_sobre_o_Developolvimento_de_Produtos_e_a_Sustentabilidade/). Acesso em: 10 de fevereiro de 2022

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). SNIC 50 Anos. Disponível em:< [www.snic.org.br/](http://www.snic.org.br/) >. acesso em 2 de março de 2022

SCHNEIDER, Martin et al. Produção sustentável de cimento – presente e futuro. Pesquisa de cimento e concreto, v. 41, n. 7, pág. 642-650, 2011.

Taylor, H.F.W., (1990): “Cement Chemistry”, Academic Press, London, Pp36 – 94.  
WBCSD (2002), Toward a Sustainable Cement Industry (Rumo a uma Indústria de Cimento Sustentável). Climate Change, WBCSD, Genebra, Disponível em:<<http://ww.wbcSD.org./>>. Acesso em 02 de mar de 2022