Cimento sustentável - Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland

Zumhin Prado Salmeron Jung
zumhin@gmail.com

Professor orientador: Me. Raphael Sapucaia dos Santos

Coordenação de curso de Engenharia Civil

Resumo

As cinzas do bagaço da cana-de-açúcar são resíduos gerados em usinas agrícolas que ocasionam problemas para os produtores, visto que sua destinação final geralmente é em aterros, sendo assim a utilização de tais materiais na construção civil promove um destino mais relevante para tal produto. Deste modo o presente estudo tem como objetivo principal investigar o cimento sustentável, em especial o potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial do cimento Portland, pauta-se por caracterizar as nuances que compõe o assunto. Os objetivos específicos deste estudo em questão almejam investigar as principais características do cimento Portland, cimento sustentável suas implicações culturais, sociais, econômicas no Brasil e no mundo, além de verificar as medidas/aplicações das indústrias da construção civil. A partir disto, este estudo justifica-se tendo em vista a relevância da temática, levando em conta a necessidade de se analisar a realidade para provocar transformações satisfatórias. A pesquisa teve caráter de levantamento bibliográfico, foram levantadas as bases teóricas do assunto em estudos científicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado. Para a seleção das fontes, foram consideradas como critério de inclusão as bibliografias que abordassem a temática de forma investigativa, levando em consideração a contribuição do tema proposto para a área acadêmica. Com tal levantamento conclui-se que a sustentabilidade é uma demanda vital para a construção civil, sendo a busca por materiais, como o cimento sustentável, de extrema relevância para alcançar qualidade na execução dos serviços, tendo em vista que materiais com características próximas ou superiores às dos tradicionais não são muito exploradas, devido à carência de interesse da sociedade em entender e aplicar a sustentabilidade.

Palavras-chave: Cimento Portland. Construção Civil. Cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Cimento Sustentável. Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade as transformações vêm ocorrendo de forma constante a revolução tecnológica é presente no cotidiano de qualquer sociedade ao redor do globo, nesta era a busca por inovação é incessante, o cenário atual é de extrema exigência por parte dos serviços/ações públicas e privadas. Com isto as metodologias de trabalho e organização têm papéis primordiais para o alcance do êxito e garantia da qualidade dos processos construtivos, sendo assim questões como o potencial da

cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland devem ser investigados.

O setor da construção civil vem crescendo cada vez mais em decorrência do desenvolvimento e evolução dos centros urbanos, fazendo assim surgir uma demanda ávida por novas habitações e tecnologias. Consequentemente, a evolução das metodologias de execução sempre esteve alicerçada na busca do homem por métodos e processos que permitissem uma melhor produção de bens e serviços necessários à sua satisfação.

A indústria da construção civil é imprescindível para o desenvolvimento humano, de acordo com Santos (2011) o processo produtivo da construção civil consome entre 20 e 50% dos recursos naturais de todo o planeta, sendo uma atividade que gera impacto gigantesco perante o meio ambiente, deste modo apesar de possuir grande contribuição social e econômica tal setor precisa ser ecologicamente mais responsável.

A questão que engloba a busca por materiais e produtos mais eficientes é primordial para diminuir os impactos gerados ao meio ambiente e a diminuição da utilização de recursos naturais, tendo em vista a importância de um ambiente ecologicamente equilibrado, desta forma devem ser investigadas soluções, como por exemplo, o cimento sustentável, em especial a utilização das cinzas do bagaço de cana para elaboração do concreto.

Motta et al. (2015) expõe que o setor da construção civil aumenta exponencialmente sua atuação o que exige atenção e precaução com as questões ambientais, os autores relatam que a quantidade de entulhos de construção e demolição provenientes de tal setor é superior ao dobro de todo o volume de lixo sólido urbano, sendo assim torna-se notório a necessidade de abarcar metodologias, técnicas e produtos sustentáveis, a fim de que a construção civil atenda suas demandas e necessidades de maneira mais eficiente e efetiva.

Paula (2006) descreve que o meio rural, desenvolve diversos tipos de atividades de escala agropecuária, florestal e também atividades industrias, como a produção de açúcar que gera diversos resíduos poluentes, sendo estes danosos ao meio ambiente, o autor defende que tais produtos possam ser transformados e incorporados de maneira a desenvolver e produzir materiais que possam atender a demanda da construção civil, como cimentos sustentáveis que atendam as questões de maneira eficiente e econômica.

Diante do exposto, o presente estudo propõe o seguinte questionamento “qual a relevância da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial do cimento Portland? Sendo tal questionamento composto por diversas caracterizações, mecanismos e aspectos distintos que o compõe, busca-se assim conceituar as nuances da relação de tais temáticas, bem como suas atribuições e aplicações, para assim evidenciar os eventuais ganhos e dificuldades enfrentados.

O objetivo geral deste trabalho é investigar as alternativas tecnológicas para a implementação do cimento sustentável, em especial a utilização das cinzas do bagaço de cana para substituição parcial do Portland. Como objetivos específicos pretende-se apresentar as principais características do cimento Portland, do cimento sustentável, suas implicações culturais, sociais, econômicas no Brasil e no mundo, além de verificar as medidas/aplicações das indústrias da construção civil. Para isto será necessário mapear os fundamentos e informações apresentados por teóricos, entidades públicas, agências especializadas, dados financeiros e estáticos.

Justifica-se a escolha do presente assunto, tendo em vista que a sustentabilidade na construção civil é um tema vital, sendo assim carece de pesquisas

e estudos constantes para propiciar soluções para os desperdícios e impactos ambientais gerados por tal setor, visto que a investigação contribui diretamente com a divulgação de conhecimento e busca por metodologias que auxiliarão o desenvolvimento sustentável, é notória a necessidade de solucionar as questões referentes a todo o percurso produtivo da construção civil, para assim evitar os impactos ambientais e os descartes inadequados dos mesmos.

Através das informações apresentadas até então é possível afirmar que a construção civil precisa pautar pela sustentabilidade, visto a quantidade de resíduos e desperdícios que cerca sua execução, deste modo alternativas que possuem um potencial relevante como o cimento sustentável, devem ser investigadas. Sendo assim o presente estudo almeja analisar a discussão e a literatura disponível sobre a utilização do cimento sustentável, em especial a aplicação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material do cimento sustentável.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para abarcar a temática central deste estudo se torna necessário recorrer a uma revisão bibliográfica com intuito de conceituar aspectos em torno do cimento Portland, dos cimentos sustentáveis, em especial as questões que englobam as características tecnológicas de tais insumos, com foco especial na utilização das cinzas do bagaço de cana. Com isto, este tópico buscou destrinchar a temática, almejando ressaltar a importância do cimento para a construção civil, frisando a questão da sustentabilidade como foco.

2.1 Sustentabilidade na Construção Civil

O termo sustentabilidade é sem sombra de dúvida um dos que possui maior evidência na sociedade contemporânea, de acordo com Braga et al. (2010) esse conceito está presente nas mais diversas áreas de planejamento e setores da economia. Na construção civil, por exemplo, a utilização de materiais mais eficientes almeja gerar o menor impacto possível ao meio ambiente, a fim de proporcionar conforto e reduzir o consumo de recursos naturais, deste modo o autor ressalta a necessidade de diversificar materiais e tecnologias que atendam as demandas do mercado.

A integração das particularidades que englobam as condições e circunstâncias ambientais é uma imposição da indústria contemporânea, Côrtes (2011) relata que os empresários da construção civil devem desenvolver metodologias, técnicas e especializar sua mão de obra para diminuir os impactos ambientais.

Côrtes (2011) ressalta que a prevenção e a reciclagem dos resíduos são maneiras eficientes de diminuir o consumo de energia, de água e de outros fatores do processo de construção são insumos para apoiar a implementação de práticas responsáveis, levando em conta que a cada dia inovações tecnológicas estão sendo criadas.

A indústria da construção civil é sem sombra de dúvidas um dos setores primordiais para o desenvolvimento das mais diversas atividades humanas englobando aspectos econômicos e sociais, sendo assim analisar os impactos ambientais propiciados por sua execução é imprescindível, o que infere a necessidade

do desenvolvimento de medidas pautando por uma ótica sustentável em torno do assunto principalmente, tendo em vista a necessidade de buscar inovação na elaboração de produtos.

Neto (2005) afirma que o setor da construção civil é um dos ramos que gera mais implicações negativas perante o meio ambiente, sendo de longe a atividade que mais gera resíduos na sociedade, o autor ressalta que os resíduos gerados tem muitas origens, desde a cadeia produtiva dos materiais, a extração de matéria prima, os desperdícios na execução de construções, as demolições, dentre outros. Sendo assim a questão do contínuo aumento populacional registrado nas últimas décadas, principalmente em países subdesenvolvidos, agrava os desperdícios e limitações.

John et al (2001) demonstra, embasado nos estudos de outros autores, que a construção civil é um ramo de atividade com enorme consumo dos recursos naturais. Com base nesta afirmação, observa-se que há alguns agravantes, pois, por um lado, embora exista a necessidade de habitação por parte da humanidade, esta atividade não disponibiliza uma contrapartida para o meio ambiente. Por outro lado, além de muito extrair, ainda desperdiça, ou seja, o consumo de recursos poderia ser inferior ao efetivamente utilizado ou maior quantidade de edificações poderiam ser construídas, beneficiando uma maior parcela da população.

A história da humanidade demonstra que os seres humanos sempre produziram resíduos, Worreal & Visilind (2001) descrevem em seus estudos que após a mudança de vida nômade, por volta de 10 mil anos a.C. os desperdícios e a produção de resíduos têm aumentado continuadamente, ao longo dos anos as nações vêm percebendo que tal questão é um empecilho sanitário, logístico e econômico o que colaborou com o desenvolvimento de políticas públicas que englobem a questão dos resíduos de maneira adequada.

O setor da construção civil tem crescido deliberadamente nas últimas décadas, ocasionando grande número de resíduos sólidos, principalmente devido o desperdício o que acarreta malefícios ambientais e perdas econômicas, desta maneira é preciso buscar formas e materiais que possam amenizar os desperdícios bem como metodologias para otimizar a aplicação das matérias primas a serem exploradas.

Alves & Quelhas (2004) descrevem que existem vários motivos que geram desperdícios no setor da construção civil, os autores pontuam que a falta de qualificação da mão de obra é um dos fatores principais, além de projetos inadequados, instalações mal executadas no canteiro de obra, transporte e armazenamento inadequado de materiais, imperfeições dos materiais adquiridos, dentre outras questões.

Gradvohl (2010) ressalta que para alcançar à sustentabilidade no âmbito da construção civil a inovação é o caminho, visto que tal metodologia propicia a incidência de oportunidades que podem gerar benefícios significativos, aumentar a produtividade, reduzir custos, zelar pela qualidade e confiabilidade dos materiais são fatores que favorecerão o surgimento de materiais sustentáveis, tendo em vista que as empresas da construção civil almejam manter-se competitivas.

A responsabilidade ecológica vem sendo pautada como um dos principais pontos a se abarcar, Côrtes (2011) cita que a sustentabilidade tem feito com que o setor da construção civil produza transformações, busque inovação e elabore materiais que englobem as preocupações com o meio ambiente, o autor disserta que os gestores já entendem que a população exige que os produtos tenham qualidade, ética e responsabilidade ambiental, desta maneira o aperfeiçoamento e exploração da inovação são vitais para que a construção civil possa superar a cultura do desperdício.

Fabrício (2008) ressalta que as inovações no setor da construção civil se relacionam diretamente a racionalização, uma vez que geram redução de custos e aumentam a produtividade dos empreendimentos, deste modo as inovações como o cimento sustentável impactam em uma menor geração de resíduos, diminui o número de etapas no processo de produção, aumenta a lucratividade da empresa e melhora a imagem da empresa frente a sociedade como um todo, se refletindo em uma vantagem competitiva.

Modernizar-se é uma exigência imposta pela globalização, a busca por melhorar a imagem da instituição, encontrar vantagens econômicas e zelar pela sustentabilidade do planeta são demandas necessárias, Côrtes (2011) disserta que os administradores devem levar em conta as mudanças do presente e ter precaução com os recursos do futuro, sendo assim a sustentabilidade prega o respeito pela capacidade produtiva das gerações futuras, o autor afirma que investigar e explorar práticas sustentáveis no que se refere a inovação de materiais e serviços é uma necessidade do mercado contemporâneo.

Campos (2012) ressalta que a sustentabilidade deve ser o principal caminho para a busca da inovação no setor da construção civil, levando em conta que a cadeia produtiva desta área compreende uma indústria gigantesca que engloba materiais, serviços, comércio, máquinas e equipamentos, o que acaba por propiciar impactos gigantescos frente o meio ambiente, Ceotto (2010) cita alguns destes impactos:

> • A operação dos edifícios consome mais de 40% de toda energia produzida no mundo;
> • Consome 50% da energia elétrica e 20% do total de energia produzida no Brasil;
> • A Construção Civil gera de 35% a 40% de todo resíduo produzido na atividade humana;
> • Na construção e reforma dos edifícios se produzem anualmente perto de 400 kg de entulho por habitante, volume quase igual ao do lixo urbano;
> • A produção de cimento gera 8% a 9% de todo o CO_2 emitido no Brasil, sendo 6% somente na descarbonatação do calcário;
> • Assim como o cimento, a maioria dos insumos usados pela Construção Civil é produzida com alto consumo de energia e grande liberação de CO_2.

Ceotto (2010) analisa que é imprescindível que seja realizada uma análise do tempo de vida dos materiais e da obra, buscando alternativas sustentáveis, como o reaproveitamento, reciclagem etc. As escolhas coerentes e eficientes dos materiais que entram e saem da obra implicarão em toda a vida útil do empreendimento, o autor relata ainda que é preciso analisar às condições climáticas, o consumo energético, a gestão de água, o local da construção, e a gestão de resíduos, com o intuito de prever e minimizar os impactos ambientais causados pela construção.

A World Business Council for Sustainable Developement (2010) apresenta em seus estudos que a execução de obras é um dos principais setores da economia nacional e global, sendo extremamente relevante para o desenvolvimento de qualquer nação, levando em conta sua capacidade financeira em gerar emprego e renda, entretanto a WBCDS descreve em sua pesquisa que a construção civil consome em torno de 40% de toda energia mundial, além da exploração de jazidas e recursos naturais, o que acaba por proporcionar uma grande geração de resíduos, visto o desperdício de materiais e produtos.

John (2004) ressalta que a indústria da construção civil deve buscar meios para pautar pela sustentabilidade, para assim encontrar produtos, meios e metodologias que possam garantir o desenvolvimento da indústria sem gerar impactos gigantescos

no meio ambiente, o autor define que para pautar pela sustentabilidade a construção civil deve realizar:

> * mudanças de tecnologia para combater as perdas;
> * aperfeiçoamento e flexibilidade de projeto;
> * melhoria da qualidade de construção, de forma a reduzir a manutenção causada pela correção de defeitos;
> * seleção adequada de materiais, considerando, inclusive, o aumento da vida útil dos diferentes componentes e da estrutura dos edifícios;
> * capacitação de recursos humanos;
> * utilização de ferramentas adequadas;
> * melhoria da condição de estoque e transporte;
> * melhor gestão de processos;
> * incentivo para que os proprietários realizem modificações nas edificações e não demolições;
> * taxação sobre a geração de resíduos;
> *medidas de controle de disposição;
> * campanhas educativas (JOHN, 2004, p. 22)

Seguindo o exposto até então se torna evidente a relevância da construção civil para sociedade, deste modo zelar para que o setor continue a crescer de maneira sustentável é imprescindível para garantir a sobrevivência das futuras gerações, a construção sustentável é um processo que visa estabelecer o equilíbrio entre ambientes construídos e ambientes naturais. Este estudo almeja apresentar a viabilidade do cimento sustentável, sendo este uma prova que é possível substituir materiais de construção tradicionais por opções mais sustentáveis sem perda de resistência mecânica e outros fatores relevantes para os processos construtivos.

A CBCS (2014) expõe que a sustentabilidade é uma necessidade a ser abarcada pela construção civil, levando em conta que tal fato é um desafio para todos os setores, em países como o Brasil onde existe uma grande desigualdade social, falta de oportunidades e de moradias adequadas, a questão do desperdício de produtos e materiais é inadmissível, deste modo a CBCS ressalta que a sustentabilidade é imprescindível para que o equilíbrio ecológico e o desenvolvimento econômico se mantenham relevantes para promover o desenvolvimento da sociedade de maneira integral.

2.2 Cimento Portland: histórico, características e aplicações

Segundo Castro (2021) o cimento é um material inorgânico de baixa granulometria que, quando misturado com água, forma uma pasta, que endurece em virtude de reações e processos de hidratação, mantendo assim sua resistência e estabilidade. O autor refere que a origem do cimento se deu no antigo Egito, mas sua forma contemporânea denominada cimento Portland foi patenteada em 1824 pelo inglês Joseph Aspdin, o autor expõe que o cimento é o principal responsável pela transformação da mistura dos materiais componentes dos concretos e das argamassas no produto final almejado.

> A palavra cimento é originada do latim *CAEMENTU*, que designava na velha Roma, espécie de pedra natural de rochedos. A origem do cimento remonta de cerca de 4.500 anos. Os imponentes monumentos do Egito antigo já utilizavam uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado. As grandes obras gregas e romanas, como o Panteão e o Coliseu, foram

> construídas com o uso de solos de origem vulcânica, que possuíam propriedades de endurecimento sob a ação da água. O construtor inglês Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino, percebeu que obtinha uma mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto às pedras empregadas nas construções. A mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor no mesmo ano com o nome de cimento Portland, nome que recebeu por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland (SNIC, 2014).

Diversos autores relatam que as primeiras iniciativas para a produção de cimento no Brasil são datadas cerca de 1888, entretanto segundo Battagin (2009) a produção e comercialização das primeiras toneladas de cimento ocorreu somente no ano de 1926, sendo que até então, a construção civil nacional dependia exclusivamente de produtos importados.

Castro (2021) expõe que o cimento é desenvolvido a partir de uma reação térmica da mistura de dois componentes básicos: calcário (carbonato de cálcio) e argila (silicatos de alumínio e ferro), o autor descreve que por meio de tais materiais que são extraídos os óxidos necessários para sua hidratação. O carbonato de cálcio ($CaCO_3$) aquecido em alta temperatura forma a cal (CaO) e libera CO_2 para atmosfera.

Já da argila são extraídos os óxidos SiO_2, $Al2O_3$ e Fe2O de acordo com Castro (2021). O material obtido é submetido a fornos que chegam a temperaturas acima de 1450 ºC, o processo é denominado de clinquerização, nesta etapa diversas reações físicas e químicas ocorrem, até o momento que o material resfriar e aglomerar-se em partículas denominadas de clínquer, que podem variar de 2 a 20 mm de diâmetro, como visto na figura 1.

Figura 1 – Grão de um clínquer de cimento Portland com uma face cortada e polida

Fonte: Stutzman (2004).

Paula (2006) ressalta que na composição química do cimento Portland as matérias-primas devem conter cálcio, silício, alumínio e ferro em formas e proporções adequadas, para posteriormente produzir silicatos que constituem o cimento, o autor relata que o carbonato de cálcio pode ser encontrado naturalmente como pedra calcária, giz, mármore e conchas do mar, tendo argila e dolomita como principais impurezas.

De acordo com Barbosa et al. (2011) diversos estudos vem comprovando os danos causados pela utilização desordenada de matérias-primas naturais, depósitos incorretos de rejeitos, poluição do meio ambiente, dentre diversos outros impactos

ambientais, deste modo existe a necessidade de apoiar-se em novas técnicas que favoreçam o desenvolvimento da construção civil e colaborem com uma indústria ecologicamente mais responsável, o autor ressalta que o concreto ecológico vem tornando-se possível devido a utilização de agregados e de materiais alternativos.

Petruci (1998) descreve que o cimento Portland é um material pulverulento, sendo tal insumo composto por silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre. O autor apresenta que os silicatos e aluminados complexos quando são misturados com água, se hidratam e produzem o endurecimento da massa que pode oferecer uma elevada resistência física e mecânica, o autor apresenta ainda que o cimento Portland é proveniente da moagem do clínquer, sendo este uma substância com características pozolânicas.

Castro (2021) disserta que a composição do clínquer é resultado da mistura controlada das matérias-primas de tal maneira que gera uma proporção dos componentes químicos similar para os cimentos do tipo Portland, o autor ressalta que a composição do cimento influencia diretamente suas propriedades tanto em estado fresco quanto endurecido, a tabela 1 demonstra a porcentagem dos materiais que podem ser utilizados para desenvolver o cimento Portland.

Tabela 1 – Porcentagem típica dos componentes químicos do cimento tipo Portland

NOME	FÓRMULAS	PESO (%)
Óxido de cálcio	CaO	61 - 67
Óxido de silício	SiO_2	17 - 24
Óxido de alumínio	Al_2O_3	3 - 8
Óxido de ferro	Fe_2O_3	1 - 6
Óxido de magnésio	MgO	0,1 - 4
Óxido de sódio + Óxido de potássio	$Na_2O + K_2O$	0,5 - 1,5
Trióxido de enxofre	SO_3	1 - 3

Fonte: Glasser (1997, p. 152).

Petrucci (1998) relata que o cimento Portland é um dos principais materiais para a construção civil, visto que para a produção da pasta, da argamassa e do concreto, a primeira escolha a ser feita é a do cimento, levando em conta que o mesmo influi no processo de hidratação, na consistência, na resistência mecânica e nas propriedades do concreto fresco e endurecido.

Neville (2013) define em seus estudos que o cimento Portland é nomenclatura atribuída ao cimento que é obtido através da mistura de calcário, argila, alumina que contenha óxido de ferro, dentre outros materiais silicosos. O autor afirma que tal mistura é exposta a altas temperaturas que auxiliam o processo de clinquerização, sendo que com este processo se obtém o clínquer moído, sendo um material vital para as características pozolânicas do concreto.

Maia (2002) ressalta que o crescimento descontrolado da população e a expansão das grandes empresas, impulsionada principalmente pela utilização agressiva dos combustíveis fósseis, abriram estrada para uma expansão inédita da escala das atividades humanas, pressionando a base limitada e cada vez mais escassa dos recursos naturais do planeta, o cimento Portland por todo seu impacto ambiental e importância para a construção civil é um dos principais produtos que está no foco desta discussão.

O cimento pode ser considerado um material que revolucionou a história da engenharia, deste modo através das informações apresentadas até então se torna notório a relevância e aplicabilidade do cimento Portland, principalmente devido suas propriedades aglomerantes, ligantes ou aglutinantes que auxiliam na execução do concreto, por exemplo, o cimento é vital para formar a estrutura de uma, dentre os cimentos Portland existem algumas variedades, Castro (2021) cita na tabela 2 os principais tipos utilizados no Brasil.

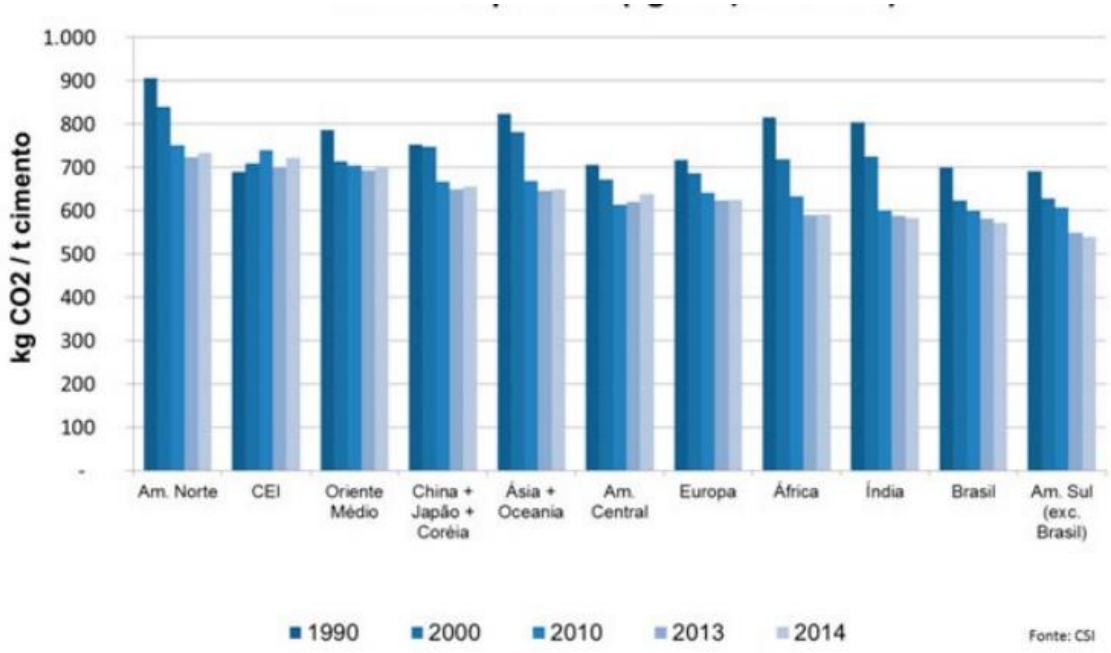
Tabela 2 – Tipos de cimento Portland

TIPOS DE CIMENTO	CARACTERÍSTICAS
Cimento Portland comum	Pode ser designado como CP I ou CP I-S (sem ou com adição, respectivamente). A norma brasileira exige que a sigla seja acompanhada do número 25, 32 ou 40, que representam a resistência à compressão aos 28 dias de idade, em MPa (NBR 5732, 1991).
Cimento Portland tipo II	É um cimento composto e mais resistente ao ataque de sulfatos. O tipo do CP II é determinado pela adição (CP II-E, com escória; CP II-Z, com pozolana; e CP II-F, com filer). E, além de ser indicado para praticamente todas as fases de uma obra, o seu custo e disponibilidade o torna muito popular.
Cimento Portland de alto forno	Conhecido como CP III, contém a adição de 35 a 70% de escória, e por isso apresente maior durabilidade.
Cimento Portland pozolânico	O CP IV apresenta de 15 a 50% de material pozolânico em sua composição. Apresenta baixo calor de hidratação, baixa porosidade e gera um produto mais resistente a longo prazo quando comparado com cimentos comuns.
Cimento Portland de alta resistência inicial	É o cimento CP V - ARI. Assim como o CP I, não apresenta adições, porém apresenta uma dosagem diferente na produção do clínquer. A vantagem deste produto é a velocidade em que a resistência máxima à compressão é alcançada. O cimento ARI apresenta alta resistência após apenas 7 dias da hidratação

Fonte: Castro (2021).

De acordo com Rebmann (2011) o cimento Portland é o material que mais causa a emissão de CO_2 na atmosfera, cerca de 1.000 kg de CO_2 emitidos por tonelada de cimento produzido, desta maneira pautar pela utilização de um cimento sustentável é vital para manter o equilíbrio ecológico, estudos buscam desenvolver produtos com viabilidade mecânica e eficiência econômica. O gráfico representado na figura 2 demonstra emissão realizado por diversos continentes e países ao redor do globo.

Figura 2 - Emissão de kg de CO_2/ton. de cimento entre os anos de 1990 e 2014 no mundo



Fonte: SNIC (2014).

De acordo com Rebmann (2011) os resultados obtidos através de seus estudos demonstram que é possível desenvolver concretos que sejam baseados no consumo de cimento sustentável, que atenda as normas adequadas e a durabilidade almejada, o autor afirma que tais concretos podem ser comparáveis ou até mesmo superiores às maiores exigências normativas, mesmo com consumos de cimentos inferiores às mínimas especificadas por estas mesmas normas.

Desta forma é possível afirmar que existe uma busca por um cimento sustentável que possa auxiliar na elaboração de um concreto que seja realmente aplicável na execução dos empreendimentos, que possa ser produzido por centrais dosadoras e que seja ambientalmente correto, podendo reduzir significativamente o consumo de cimento e consequentemente a emissão de CO_2. De acordo com dados do Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC, 2018), foi produzido no ano de 2017 no Brasil mais de 49,7 milhões de toneladas de cimento, sendo a maior parte dessa produção destinada para a produção de concreto.

Kiss (2010) descreve o processo de produção do cimento, relatando que o mesmo é composto de diversas etapas, que envolvem principalmente a extração de calcário e argila, processos de britagem, moenda e queima, além da adição de outros componentes como clínquer e escória ou pozolana.

De acordo com Lopes (2011), no processo de fabricação do cimento, são emitidas aproximadamente 150 mil toneladas de dióxido de carbono (CO_2) por ano. As indústrias de cimento são responsáveis por 5% da geração de gás carbônico no mundo, tendo em vista que o cimento é um material não reutilizável, esses números são ambientalmente preocupantes, deste modo alternativas sustentáveis devem ser investigadas para substituir ao menos parcialmente o cimento Portland.

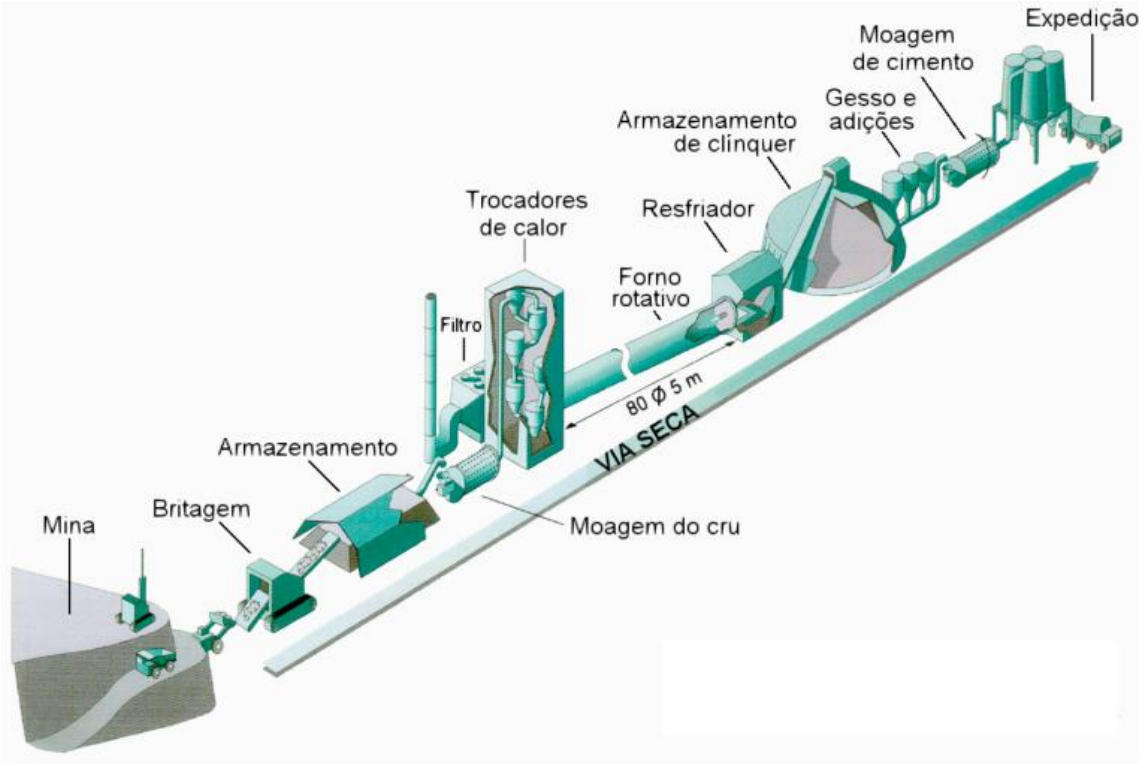
Barbosa et al. (2011) realizaram ensaios laboratoriais onde encontraram como resultados que o concreto ecológico com a adição de cinzas de cana-de-açúcar e materiais pozolânicos como o metacaulim alcançaram melhor desempenho que muitos outros convencionais, no que se refere a propriedades mecânicas. Os autores

ressaltam ainda a redução do custo econômico do material, entretanto ressaltam a redução do módulo de elasticidade o que possui maior tendência formação de microfissuras e pode dificultar a trabalhabilidade do material, o que acaba por gerar na construção civil uma preferência pelo Cimento Portland.

O SNIC (2017) realizou diversos estudos entre os materiais, encontrando a evidência de que o cimento Portland é o material mais utilizado para a produção de compósitos cimentícios em todo o mundo, seja em concretos, argamassas, dentre outras aplicações. O sindicato Nacional da Indústria do Cimento disserta que estudos realizados por Scheider (2015) estimam que a produção de cimento deve duplicar até o ano de 2050, sendo que há mais de 100 fábricas de cimento no território brasileiro.

O SNIC (2017) expõe que as etapas de fabricação do cimento conforme Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2010) são: Extração do calcário e argila, 2. Britagem; 3. Armazenamento; 4. Dosagem; 5. Moinho do cru; 6. Silos de homogeneização; 7. Forno rotativo; 8. Resfriador, 9. Adições; 10. Moagem do cimento; 11. Silos de cimento; 12. Expedição. O processo de fabricação pode ser visualizado na figura 3 exposta a seguir.

Figura 3 - Processo de produção do cimento



Fonte: Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT, 2010).

Deste modo todas as etapas de produção devem ser obedecidas para obter um produto de qualidade, na contemporaneidade alternativas tecnológicas vem sendo investigadas para que o cimento possa ser desenvolvido de maneira sustentável, diversos subprodutos vegetais e outros agregados são pautas de estudos para o alcance de um cimento sustentável que possa favorecer a elaboração de um concreto que mantenha a resistência mecânica e aplicabilidade de maneira efetiva.

De acordo com Pessoa (2020) a resistência a compressão do concreto é um dos fatores mais importantes de tal produto, tendo em vista que é através desta que

será possível descobrir se o concreto está conforme o solicitado ou não, bem como, saber dizer qual é o rendimento do cimento, sendo assim o autor define que o cimento sustentável deve atender os padrões normativos para que possa englobar as necessidades da elaboração de um concreto eficiente.

2.3 Concreto ecológico

Isaia (2007) afirma que a descoberta do concreto ao final do século XIX revolucionou a indústria da construção civil, mudando completamente as práticas construtivas do homem, tornando o concreto o material mais consumido na construção civil e o segundo material mais consumido na humanidade depois apenas da água.

Como visto anteriormente quando o cimento Portland é misturado com água ganha características para facilitar sua trabalhabilidade, Isaia (2007) disserta que a pasta (cimento + água) confere características como dar impermeabilidade ao concreto; dar trabalhabilidade ao concreto; envolver os agregados; preencher os vazios entre os agregados. O autor ressalta que para elaborar o concreto existe a necessidade da adição de agregados e até mesmo fibras, pigmentos ou aditivos, é importante levar em conta a proporção para que o concreto alcance propriedades mecânicas, durabilidade e trabalhabilidade.

Segundo Balbo (2009) o concreto é um dos materiais mais populares na construção civil, deste modo é preciso que normas e padrões sejam estimados para que sua elaboração atenda as demandas necessárias, evitar substâncias nocivas que comprometam sua durabilidade ou causem corrosão em armaduras é vital, A ABNT define que:

> De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 12655:2015, o concreto é o “material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água) (ABNT, 2015, p. 1).

Mehta e Monteiro (2008) definem três motivos para que o concreto seja imprescindível para a construção civil, os autores citam que sua propriedade e resistência à água o diferenciam de materiais como madeira e aço, visto que não passar por grave deterioração quando em contato com a mesma; a segunda razão é sua capacidade de trabalho, levando em conta que existem diversas metodologias que favorecem moldes variados e tamanhos; e a terceira razão é seu baixo custo e a rapidez com que ele é elaborado na obra, tal fato é devido aos agregados, água e cimento, possuírem valores baixos e estarem disponíveis em qualquer local do mundo.

Castro (2021) expõe na figura 4 o resultado da mistura de água, cimento e outros agregados, o autor ressalta que a utilização dos agregados é vital para adquirir um concreto coerente com a demanda, tendo em vista que os mesmos podem garantir menos retração na cura (endurecimento); evitar fissuras; garantir menor fluência; maior rigidez após secagem e podendo ainda diminuir o custo da obra.

Figura 4 – Concreto e sua importância na construção

Fonte: Castro (2021).

Mehta & Monteiro (2008) afirmam em suas investigações que o concreto é o material mais utilizado no setor da construção civil, sendo que tal produto é adquirido através da mistura entre cimento Portland, areia, brita e água, tendo classificações diferentes dependendo de sua densidade, composição e elaboração. As principais classificações expostas pelos autores são o concreto de densidade normal quando em sua constituição exibe areia natural e pedregulhos ou agregados britados; concreto leve, quando em sua constituição se encontram agregados com menor densidade de massa, e concreto pesado, quando apresenta em sua composição agregados de alta densidade.

De acordo com Barbosa et al. (2011) diversos estudos vem comprovando os danos causados pela utilização desordenada de matérias-primas naturais, depósitos incorretos de rejeitos, poluição do meio ambiente, dentre diversos outros impactos ambientais, deste modo produtos alternativos como a cinza do bagaço de cana-de-açúcar e técnicas inovadoras precisam ser investigadas para favorecer a sustentabilidade no setor da construção civil, os administradores e gestores devem buscar alternativas tecnológicas que produzam modificações na cultura atual, o autor ressalta que o concreto ecológico vem auxiliando na construção de uma ótica de responsabilidade ecológica.

> O concreto de cimento Portland, considerado o produto básico da construção civil, consome cerca de 80% de agregados na sua composição. Por um lado, tem-se o concreto, grande consumidor de agregados e cimento, além de ser base para o desenvolvimento da construção civil, por outro, tem-se a tendência natural das reservas de produção de agregado em tornarem-se mais escassas, por serem recursos naturais finitos cujo processo de obtenção é cada vez mais discriminado dentro de uma nova consciência ambiental. Deste contraponto conclui-se que a construção civil e o concreto possam vir a serem alternativas indicadas para absorver os resíduos sólidos provenientes dos diversos processos produtivos, na tentativa de tornar esta atividade mais sustentável (MOURA, 2000, p. 27).

Barbosa et al. (2011) realizaram ensaios laboratoriais onde encontraram como resultados que o concreto ecológico alcançou melhor desempenho que muitos outros convencionais, no que se refere a propriedades mecânicas, os autores ressaltam ainda a redução do custo econômico do material, entretanto ressaltam a redução do módulo de elasticidade o que possui maior tendência formação de microfissuras.

Muitos estudos estão buscando elaborar produtos ecologicamente responsáveis, Torgal & Jalali (2010) descrevem que o emprego de fibras vegetais na fabricação de compósitos cimentícios vem crescendo de maneira exponencial, visto que existe a necessidade de atribuir maior inovação e sustentabilidade ao setor da construção civil. Os autores ressaltam que diversas características relacionadas aos materiais reforçados com fibras precisam ser estudadas, a fim de que as características pozolânicas, a questão de resistência mecânica, entre outras questões possam ser identificadas em tais concretos.

Torgal & Jalali (2010) ressaltam a necessidade de investigar os cimentos sustentáveis, visto que para a elaboração do concreto ecológico é necessário que esse cimento seja eficiente em sua resistência mecânica e aplicabilidade, os autores ressaltam que muitas fibras vegetais vêm sendo estudadas e aplicadas nos concretos como fibras de sisal, fibra de coco, casca de arroz, fibras de cânhamo, cinza do bagaço da cana-de-açúcar, sendo estes produtos oriundos da agricultura.

Zucco (2008) relata em seus estudos que diversos resíduos provenientes da agricultura estão encontrando finalidades diferentes, até mesmo na geração de energia, tendo em vista que o descarte inadequado de tais materiais provoca impactos gigantescos frente às questões ecológicas, o autor ressalta, por exemplo, a cinza do bagaço da cana-de-açúcar tem grande potencial como material de substituição parcial de cimento Portland.

Zucco (2008) afirma que a cinza oriunda da queima do bagaço da cana-de-açúcar (para geração de energia) é altamente preocupante, tendo em vista o volume e a dificuldade logística em seu descarte são problemas notórios, desta maneira a construção civil apresenta-se como solução para a aplicação de resíduos agrícolas, visto que suas características pozolânicas possibilitam que os mesmos possam elaborar concretos ecológicos.

Através das informações expostas até então é possível afirmar que o concreto é o material mais utilizado na indústria da construção civil, ao menos em solo brasileiro, deste modo um debate sobre sustentabilidade é necessário, o cimento utilizado no concreto é responsável por grandes quantidades de emissão de carbono como visto anteriormente, sendo assim utilizar materiais para substituição parcial do cimento Portland é vital para construir uma indústria responsável ecologicamente.

2.4 Cimento sustentável: Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland

Hofmann et al. (2010) descreve que a alternativa ecológica e economicamente rentável que vem sendo aplicada para lidar com o bagaço de cana-de-açúcar é a geração de energia através de sua queima, o que proporciona como principal resíduo a cinza, sendo esta um resíduo agroindustrial, que de acordo com o autor possui altas composições de sílica, uma combinação entre silício e oxigênio, o autor afirma que é possível que tal aditivo seja integrado na construção civil.

A agroindústria brasileira é a mais antiga atividade econômica do Brasil, sendo que no primeiro levantamento 2010/2011 da safra brasileira de cana-de-açúcar realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) entre março e abril de 2010, apontou uma produção estimada das indústrias de cana-de-açúcar em aproximadamente 600 mil toneladas de cana-de-açúcar para a referida safra,

ocupando uma área de cerca de 8.091,5 mil hectares para plantio, como mostrado na tabela 3.

Tabela 3 - Comparativo de área, produtividade e produção da safra brasileira 2010/11 de cana de açúcar

REGIÃO/UF	SAFRA 2010/11		
	ÁREA (em mil ha)	**PRODUTIVIDADE (em kg/ha)**	**PRODUÇÃO (em mil ton)**
NORTE	29,9	89.384	2.671,70
NORDESTE	1.128,90	57.977	65.452,00
CENTRO-OESTE	1.160,10	84.587	98.132,30
SUDESTE	5.163,50	86.655	447.445,10
SUL	609,00	83.143	50.632,30
BRASIL	**8.091,40**	**82.103**	**664.333,40**

Fonte: CONAB (2010).

Cordeiro (2006) ressalta que a cana-de-açúcar é um dos principais produtos agrícolas cultivados no Brasil, no qual ocupa a posição de liderança mundial na exploração da cana e derivados. Segundo o autor no processo industrial é possível se obter açúcar e derivações, como álcool anidro e hidratado, o vinhoto, a levedura e o bagaço da cana. Por sua vez o bagaço é queimado nas caldeiras para auxiliar na geração de energia elétrica por parte das usinas, o que produz a areia de cinza do bagaço de cana-de-açúcar, um problema enfrentado por administradores de usinas no que se refere ao direcionamento de tal resíduo.

Os resíduos gerados em qualquer área são um grande problema ambiental, principalmente acerca do seu descarte, desta maneira a construção civil pode encontrar vantagem e inovação em tais materiais, Savastano (2003) relata os benefícios que os subprodutos de indústrias e da agricultura podem se tornar materiais relevantes para a execução de obras, tendo em vista que a disponibilidade de matérias-primas não renováveis é uma questão preocupante, o autor afirma que é preciso reciclar, reutilizar e transformar os resíduos para alternativas tecnológicas mais eficientes, econômicas e efetivas sejam alcançadas.

Rebmann (2011) ressalta que produtos alternativos podem ser transformados em soluções tecnológicas para a indústria da construção civil, visto que materiais como a cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland possui grande potencial para diminuir problemas dessa natureza, sendo algo relevante a incorporação de resíduos em materiais da construção civil.

Freitas et al. (1998) afirma em seu estudo de caso sobre fibras para a elaboração de concreto que do total do bagaço de cana-de-açúcar, cerca de 10% se transforma em cinzas, desta forma a aplicação de fibras como fonte de cinza para adição mineral obedece a dois fatores: o rendimento da cinza (em torno de 15%) e a sua constituição química (em torno de 80% de SiO_2). Além da sílica, as cinzas contem álcalis e traços de óxido de ferro, alumínio, cálcio e magnésio

Segundo Paula (2006) o bagaço é gerado através da moagem da cana de açúcar para extração do calco, sendo que 95% de todo o bagaço produzido no Brasil é queimado em caldeiras para a geração de vapor, formando as cinzas do bagaço. O autor relata ainda que para cada tonelada de bagaço incinerado, são gerados

aproximadamente 147 quilos de cinzas, cerca de 15%, entretanto apesar da grande disponibilidade deste resíduo no Brasil existem muitas dificuldades para tornar real e viável a produção de matrizes à base de cimento com reforço de fibras vegetais. Levando em conta a tabela 3 pode-se estimar que no país a disponibilidade de cinzas da cana de açúcar no país seja em torno de 92 milhões de toneladas.

Lima et al. (2008) descreve que a utilização e implementação de subprodutos com origem vegetal na produção de materiais e componentes da construção civil, em especial de caráter pozolânico atende as necessidades das normas e legislações em vigência no cenário nacional, visto que tais materiais promovem a sustentabilidade colaborando diretamente para a preservação do meio ambiente, além de favorecer a redução de custos e gerar grande economia de energia.

De acordo com Susilorini (2009), a adição de sacarose, subprodutos vegetais e o bagaço da cana são alternativas para uma inovação sustentável no setor da construção civil, levando em conta que estes aditivos orgânicos reduzem a aplicação do cimento na mistura do concreto, além do mais são relativamente baratos em comparação a outros aditivos.

Oliveira et al. (2004) ressalta que entre os resíduos industriais e agrícolas, as cinzas minerais provenientes das atividades agrícolas apresentam altas porcentagens de sílica, entre outros óxidos, sendo estes características básicas para materiais cimentícios, desta forma estas características pozolânicas auxilia diretamente na capacidade de reação com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação do cimento, o que forma compostos estáveis que podem ser aplicados como aglomerantes, destacam-se os silicatos e aluminatos de cálcio hidratados.

Oliveira (2004) expõe ainda que a utilização de adições minerais no setor da construção civil é um relevante exemplo de prática sustentável, no qual tal procedimento normalmente utiliza resíduos provenientes de outras indústrias, materiais que seriam descartados em grandes quantidades em locais impróprios, gerando riscos de contaminação do solo e fontes de água, além de substituir materiais que causam impactos gigantescos em sua produção, com o próprio cimento Portland.

Bessa (2011), pesquisador da UFSCar, realizou um estudo de caso substituindo areia por cinza do bagaço da cana-de-açúcar as proporções foram de 30% a 50%, com tais procedimentos o concreto conseguiu adquirir uma resistência 17% maior, deste modo a quantidade de cimento Portland poderia diminuir, mantendo a mesma resistência necessária, o autor afirma que tal substituição é possível,

De acordo com Bessa (2011) devido as cinzas possuírem as características granulométricas parecidas com à da areia natural, tanto na porção cristalina como no alto teor de sílica, o autor afirma que tal alternativa produz benefícios imensuráveis para construção civil, visto que diminui os impactos ambientais tanto da extração de areia, como da produção do cimento Portland.

Anjos et al. (2012) reitera que as colorações da cinza da cana-de-açúcar devem ser avaliadas, visto que tal procedimento possibilita identificar a presença de matéria orgânica, incidindo a necessidade de peneiramento ou moagem, para que assim possa ser aplicado em concretos convencionais.

A figura 5 demonstra as muitas tonalidades da cinza extraída após queima do bagaço da cana. (a) bagaço da cana-de-açúcar e diferentes cinzas residuais geradas após a queima do bagaço em caldeira; (b) cinza escura com alto teor de carbono, característico de combustão incompleta; (c) cinza com menor teor de carbono; e (d) cinza gerada após a combustão completa.

Figura 5 – Diferentes colorações da cinza do bagaço da cana-de-açúcar

Fonte: Macedo (2009).

Susilorini (2009) reitera que a utilização de um concreto ecologicamente responsável produz benefícios como uma maior economia e uma maior qualidade ecológica, o autor afirma ainda que o denominado “concreto verde” possui uma vantagem em relação ao concreto sem nenhum aditivo: maior resistência à compressão. Lima et al. (2008) elaborou uma pesquisa sobre diversos subprodutos vegetais que vem sendo aplicados na construção civil, principalmente como substitutos em composições do cimento, a tabela 4 apresenta tais estudos.

Tabela 4 – Subprodutos utilizados em composições do cimento

TIPOS DE SUBPRODUTOS:	ESTUDADO POR:
Cinzas de casca de arroz	Santos (1997); Santos e Prudêncio (1998) e Rêgo et al (2004).
Cinzas de bagaço de cana-de-açúcar	Hernández et al. (1998); Freitas (1996); Cordeiro et al. (2005); Cordeiro (2006) e Souza et al. (2007).
Cinzas de castanha-do-pará, amendoim e mamona	Cinocotto (1998); Cinocotto e Kaupatez (1988) e Camelo et al. (2005).

Fonte: Lima et al. (2008).

Como visto na tabela 4 diversos estudos sobre o potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar têm sido realizados nos últimos anos, os estudos almejam identificar principalmente a resistência significativa à compressão de argamassas e concretos, para identificar a reação pozolânica através da adição da cinza.

Lima et al. (2008) ressalta que as pesquisas demonstram que a cinza do bagaço de cana-de-açúcar possui grande teor de concentração de sílica o que facilita sua aplicação com o cimento Portland, fazendo com que aja a transformação em um aglomerante, os estudos demonstram viabilidade na substituição parcial de cimento Portland e até mesmo da areia, conferindo uma resistência mecânica similar ao produzido nas indústrias. A figura 6 demonstra o ciclo do bagaço de cana-de-açúcar para ser aplicado como um aditivo mineral.

Figura 6 - Ciclo de geração do resíduo da cinza do bagaço de cana-de-açúcar

Fonte: Anjos et al. (2012).

Seguindo o exposto até então se pode afirmar que o desenvolvimento de pesquisas sobre a utilização de subprodutos como a cinzas do bagaço de cana confere grande inovação para o setor da construção civil, produzindo benefícios econômicos visto que tais subprodutos possuem baixíssimo custo, grande disponibilidade e economia de energia, além dos gigantescos benefícios ambientais, como a redução dos impactos propiciados pela extração de minerais para a produção de cimento Portland como, por exemplo, o calcário e minério de ferro.

Lima et al. (2008) afirma que nos últimos anos a investigação de materiais alternativos na construção civil vem crescendo de maneira exponencial, desta forma a utilização de fibras vegetais na substituição parcial de argamassas cimentícias vem ganhando notoriedade, o autor atribui tal falto a comprovação de que cinzas de fibras possuem características pozolânicas (capacidade de endurecer, tornando-se cimento), o que valida a utilização de cinzas geradas pela queima do bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz e da castanha de caju. Lima et al. (2008) afirma que a característica pozolânica encontrada nessas cinzas vegetais foi confirmada por diversos estudos elaborados nas últimas décadas.

Cordeiro (2006) ressalta a cinza do bagaço da cana-de-açúcar, relatando que a matéria prima possui aproximadamente 50% de celulose e 25% de hemicelulose e 25% de lignina, quando ocorre a queima a parte remanescente é um material que possui uma composição química com presença abundante de dióxido de silício, no qual às características de queima e granulometria podem desenvolver atividade pozolânica.

John et al. (2003) ressalta que muitos autores já investigaram a adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) em matrizes cimentícias, como concretos, argamassas, cerâmica vermelha, solo-cimento etc. Deste modo os autores ressaltam que qualquer cinza, de origem industrial ou vegetal, predominantemente siliciosa, que possa ser produzida no estado amorfo e com finura adequada, pode ser aplicada como adição mineral.

Já Paula (2006) afirma que a condição da queima do bagaço e a moagem feita com as cinzas é fundamental, uma vez que interferem diretamente na finura e na área específica das cinzas. O aumento da área de superfície resulta em um aumento na velocidade de ganho de resistência mecânica. A finura é também importante, pois é ela que dá coesão à pasta e garante a trabalhabilidade ao sistema, condições sem as quais o produto não pode ser facilmente empregado com os procedimentos usuais de construção.

Diversos estudos e investigações foram elaborados com agregados provenientes de resíduos da construção civil, seja para aplicação em argamassas e concretos, denominados cimentos ecológicos ou sustentáveis, Kiss (2010) ressalta que as características físico-químicas de componentes como as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar são semelhantes e em alguns casos até mesmo superior as argamassas que utilizam cimentos comuns, desta forma o autor afirma que a utilização desta cinza para a elaboração do cimento sustentável é extremamente relevante, tendo em vista que no Brasil existe uma quantidade gigantesca de resíduos agrícolas que são desperdiçados e alocados em condições indevidas.

De acordo com Lima (2008), a indústria da construção civil consome cerca de 20 a 50% do total de recursos naturais utilizados pelas atividades industriais; por tal motivo a aplicação de resíduos como a cinza do bagaço da cana-de-açúcar devem ser investigados na engenharia civil, o assunto tem se colocado nos últimos anos como uma prática para a sustentabilidade. A utilização das cinzas almeja implicar na redução da emissão de CO_2, provenientes da produção do cimento Portland, além de dar um destino ao resíduo gerado pela produção de açúcar e álcool.

Santos (2007) afirma que em torno de uma ótica sustentável a utilização do cimento ecológico é imprescindível, levando em conta que os benefícios em torno de sua aplicação são inúmeros, o autor cita a diminuição de impactos ambientais provenientes da indústria extrativista, a redução do desmatamento, a diminuição da erosão do solo, da poluição do ar e da água, além da diminuição da emissão de gases de efeito estufa. Santos (2007) cita que as fibras como a cana-de-açúcar possuem grande potencial de substituição parcial do cimento Portland, levando em conta que obedecem às questões legislativas e normativas nacionais, sendo comprovadas suas características pozolânicas.

Os estudos de Lima et al. (2008), Valenciano & Freire (2004) a substituição parcial do cimento Portland por 20% de cinzas de bagaço de cana de açúcar (CBC) é possível sem gerar prejuízos na resistência à compressão simples, sendo que o aumento do teor de CBC a partir de 30% na composição do cimento Portland provoca decréscimos significativos na resistência à compressão simples.

Desta maneira se torna possível afirmar que o setor de materiais sustentáveis para a construção civil carece de pesquisas e investimentos, principalmente se houver a intenção de proporcionar uma produção em grande escala de cimentos sustentáveis e disponibilizá-los ao mercado consumidor. Sendo assim além de investigações no âmbito da engenharia civil e de materiais, serão necessários estudos mais relevantes sobre tecnologias de produção disponíveis e vantagens econômicas dos cimentos sustentáveis, a fim de diminuir os impactos ambientais.

Kiss (2010) destaca outra questão ecológica que pode ser sanada pela substituição parcial do cimento Portland pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar, levando em conta que os cimentos sustentáveis diminuem a extração mineral, o que é gritante no cimento convencional, substituir por resíduos como a cinza auxilia que as matérias-primas não sejam extintas e esgotáveis. Lima et al. (2008) afirma que a construção civil é uma atividade indispensável, onde existe uma grande demanda de matéria prima para que ela ocorra, deste modo a busca pela sustentabilidade é vital para gerar inovação ao setor, o autor ressalta que a substituição parcial do cimento por fibras é uma solução para tal questão.

Por fim Vasconcelos (2013) descreve que a área da construção civil precisa reutilizar materiais para fabricar argamassa e concretos, visto que os recursos naturais empregados para tais produtos são gigantescos, deste modo a inclusão da cinza do bagaço da cana-de-açúcar ao cimento Portland, serve como uma adição pozolânica,

podendo ainda ser aplicada como agregado miúdo (na substituição parcial da areia) desta maneira deve se estimular a adoção de metodologias sustentáveis.

3 METODOLOGIA

Este presente estudo foi elaborado a partir de uma revisão de literatura de teses, artigos e monografias publicados nos últimos anos, bem como o auxílio dos fatos apresentados por autores, pesquisadores e estudiosos que dissertam acerca do assunto, sendo assim possível levantar informações e realizar reflexões acerca da temática do “Cimento sustentável: Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland”, para isto foi preciso executar uma pesquisa com caráter exploratório, descritivo e qualitativo, pautada pela validade das informações e dados descritos sobre a temática proposta.

> A pesquisa científica é a realização de um estudo planejado, sendo o método de abordagem do problema o que caracteriza o aspecto científico da investigação. Sua finalidade é descobrir respostas para a questões mediante a aplicação do método científico (SOUZA, SANTOS e DIAS, 2013, p. 59).

Desta maneira buscou-se elencar citações de investigações encontradas no Scielo.br, aliadas as informações oriundas de monografias, teses e dissertações além de investigar as diversas colocações de autores e profissionais da área de concentração do tema em questão. Para salientar a importância da sustentabilidade no setor da construção civil, explorou-se uma pesquisa que se propôs a compreender os fenômenos relacionados à temática, partindo do conhecimento de dados universais para obter respostas aos questionamentos enumerados, salientando assim aspectos que possam ser consultados por futuros estudiosos que busquem analisar tal vertente.

> A metodologia é a aplicação de procedimentos e técnicas que devem ser observados para construção do conhecimento, com o propósito de comprovar sua validade e utilidade nos diversos âmbitos da sociedade. (PRODANOV e FREITAS, 2013, p. 14)

Para elaborar a pesquisa buscou-se elencar citações de estudos encontradas no banco de dados Scielo (Scientific Electronic Library Online) e Google Acadêmico, seguindo as seguintes etapas principais:

• Determinou-se o foco da pesquisa;

• Acessando a biblioteca digital Scielo com a finalidade de, através do mecanismo de busca por palavras-chave, foram encontradas pesquisas relacionadas a sustentabilidade na construção civil, ao cimento sustentável, cimento ecológico, cimento Portland, potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar e os conhecimentos técnicos que envolvem o assunto e os benefícios de tal demanda construtiva;

• Com as referências encontradas, foram identificados e coletados em cada uma delas os principais tópicos abordados;

• Observou-se as características dos estudos analisados e constatou-se os dados mais relevantes.

Através do método aplicado foi possível elencar a importância da ótica de um desempenho de qualidade frente às ações da construção civil, angariando deste modo insumos para construir um raciocínio acerca da temática. Desta maneira objetivou-se descrever aspectos e componentes da sustentabilidade na construção civil, em especial a questão do potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material

de substituição parcial de cimento Portland, aproximando deste modo a relação do pesquisador com o tema, conferindo assim maior valor e atribuição à prática de pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A construção deste estudo possibilita idealizar que através do planejamento, da busca por materiais mais ecológicos e dos conceitos de sustentabilidade se torna possível atenuar e amenizar os impactos dos desperdícios presentes na construção civil. O estudo evidencia ainda que a busca por materiais mais eficientes é mecanismo vital para auxiliar as empresas a se tornarem mais responsáveis frente ao meio ambiente, este tópico almeja discutir e apresentar os resultados sobre o potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland.

Lopes et al. (2014) expõe como resultado do seu estudo que a atividade da construção civil vêm crescendo de maneira exponencial, o que gera grande preocupação com o meio ambiente, o autor ressalta que o volume de entulhos de construção e demolição da construção civil é gigantesco (praticamente o dobro dos resíduos sólidos urbanos), além disso a extração de jazidas para a produção de cimento Portland cresce cada vez mais, desta forma buscar metodologias sustentáveis como a utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar é uma questão de responsabilidade socioambiental.

Macedo (2012) realiza em seu estudo uma avaliação do desempenho de argamassa com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar, o autor define que tal insumo possui grande relevância para a substituição parcial do cimento Portland, visto que possui atributos pozolânicas, além de manter a resistência mecânica dos materiais produzidos em indústrias, desta forma como resultado é possível afirmar que o material contempla as necessidades e exigências das normas de diretrizes expostas na legislação brasileira.

Analisando e discutindo sobre os dados expostos neste estudo é possível expor como resultado que a construção civil utiliza muitas matérias-primas de jazidas naturais, com alto gasto de energia, de água, além de um gigantesco desperdício de materiais, deste modo os processos construtivos representam uma ameaça ao meio ambiente. Sendo assim seus materiais, suas práticas e produtos devem buscar inovações ecológicas para que as exigências das construções sejam atendidas de maneira satisfatória e os clientes se sintam satisfeito com o resultado de suas obras e empreendimentos.

Os autores supracitados neste estudo mencionam, que a questão cultural é um empecilho para substituição parcial de cimento Portland por cinza do bagaço da cana-de-açúcar, tendo em vista que existe vasta desconfiança de construtores e clientes quanto ao bom desempenho técnico e normativo, pois não há divulgação de informações constantes que propiciem a aceitação no mercado, em razão de sua grande heterogeneidade.

A utilização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de componentes utilizados no concreto vem crescendo nos últimos anos, e, por mais que pesquisas realizadas apontem um bom potencial de utilização, seu uso é relativamente pequeno, levando em conta que tais produtos apresentam grande variabilidade em sua composição, tanto que a utilização de diferentes componentes vegetais vem sendo investigados, além de outros produtos que seriam resíduos sólidos dos setores agrícolas e de agroindústria.

Oliveira et al. (2017) apresenta como resultado que a cinza do bagaço de cana-de-açúcar possui características que se adequam ao cimento e com a mesma resistência e durabilidade na fabricação, além disso os autores afirmam que a cinza pode ser utilizada em diferentes aplicações na construção civil tanto na incorporação de massas cerâmicas, na fabricação de telhas, na substituição parcial da areia, dentre outros pontos. Existe ainda uma redução significativa nos gastos de fabricação o que proporciona uma vantagem para a construção civil em relação ao cimento e do não descarte ao meio ambiente.

Durante a realização da pesquisa bibliográfica, foi observado que muitos pesquisadores têm profundo interesse na utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar em diversas áreas da construção civil. De acordo com Cordeiro (2006) a utilização de tal material como aditivo mineral apresenta um custo de produção inferior ao dos agregados convencionais e promovem benefícios ambientais imensuráveis, visto que, se deixa de extrair matéria prima da natureza e, com o reaproveitamento desses materiais, proporciona um destino correto a esses resíduos.

Lopes et al. (2014) realizou diversos estudos acerca da cinza de bagaço de cana-de-açúcar como substituição parcial do cimento Portland, os autores pautaram-se em estudos laboratoriais analisando a resistência a compressão de amostras de concreto feitas com teores de substituição de 0, 10, 20, 30%.

Em relação à resistência à compressão analisou-se que a mesma apresentava redução conforme a quantidade de cinza em substituição ao cimento Portland aumentava, mesmo com o aumento da idade. Aos 28 dias observou-se que redução da resistência ainda foi acentuada onde a substituição de cinza foi maior que 10%, podendo-se notar que na substituição de 10%, os valores de resistência a compressão foram muito semelhantes ao da amostra controle.

A partir das análises dos estudos elaborados por Lopes et al. (2014) constatou-se que a substituição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar em teores de 10% acarretou maior resistência à compressão quando comparados com as outras substituições (20 e 30%), entretanto os resultados obtidos nos experimentos nos 14 e 28 dias de cura a substituição parcial de cimento Portland com teores de 10% apresentou resistência à compressão estatisticamente semelhante à amostra controle (0% de cinza).

Em relação à resistência à compressão do concreto com a utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland, autores como Oliveira et al. (2017), Lopes et al. (2014), Anjos et al. (2012) afirmam que tal material atende as normas e exigências legislativas, possuindo grande relevância para a execução de diversos empreendimentos e indústrias, reduzindo os custos e reaproveitando recursos que não teriam finalidade, o que reduz diretamente os impactos frente ao meio ambiente.

Os autores citados neste estudo relatam que os aspectos técnicos como a resistência à compressão do concreto, durabilidade, fluência, retração, reação álcali-agregado atendem as normas e legislações. Deste modo como resultado deste estudo se pode afirmar que a cinza do bagaço de cana-de-açúcar como substituição parcial do cimento Portland, tem relevância não só sob o aspecto econômico, mas também ambiental, onde os danos acarretados à natureza com a produção de cimento e disposição inadequada dessas cinzas são minimizados pela substituição parcial do cimento.

Paula (2006) ressalta como resultado de seus estudos que a a utilização do bagaço de cana-de-açúcar apresenta inúmeros benefícios para o meio ambiente, citando a redução do volume de resíduos destinados a aterros sanitários, diminuição

no risco de contaminação do meio ambiente, a redução do volume de extração de matéria-prima necessária para a produção de cimento Portland, preservando os recursos naturais não renováveis, além disso diminui diretamente a liberação de CO_2 para atmosfera, tanto pela queima quanto pela descarbonatação.

Paula (2006) apresenta ainda como resultado do seu estudo que os índices de atividade pozolânica comprovam a pozolanicidade da cinza do bagaço de cana, o autor expõe ainda que as argamassas com maiores teores de cinza tendem a ser mais porosas, o que justifica os maiores valores de absorção encontrados.

Deste modo define que a substituição parcial do cimento Portland pode ser até 30% de cinzas na mistura o que não provoca qualquer modificação significativa, atendendo assim as normas vigentes. Desta maneira como resultado do seu estudo Paula (2006) deixa claro que a adição de até 30% da cinza do bagaço de cana-de-açúcar pode ser realizada, desde que não seja exigido do material a mesma resistência encontrada em produtos como 100% de cimento Portland.

O resultado desta pesquisa envolve a preocupação com o meio ambiente, englobando ainda a redução de custos voltados para o setor da construção civil, sendo assim reaproveitar as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar é uma atitude extremamente relevante, levando em conta que contribuirá cada vez mais na inovação do setor da construção civil, minimizando os gastos de produção e fabricação, tornando uma operação eco sustentável.

Desta maneira como resultado deste estudo pode-se afirmar que a utilização dos resíduos como as cinzas de bagaço de cana-de-açúcar na incorporação de cimentos sustentáveis é extremamente relevante para promover a redução global de emissões de CO_2. Ainda que estas alternativas não sejam aplicadas no mercado atual, a substituição de parte do cimento por outros compostos já é realidade em diversos países ao redor do globo.

Como resultado deste estudo, torna-se notório que a construção civil é um dos setores onde há maior consumo de matérias-primas naturais, estando em constante crescimento. Desta maneira existe em todo o globo uma crescente preocupação com a sustentabilidade nesse ramo para que, a cada dia, os impactos se tornem cada vez menores e as transformações ocorram de forma satisfatória, sendo assim demonstra-se o potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland.

Por fim, apresenta-se como resultado deste estudo que apenas com a exigência da qualidade será possível contemplar a sustentabilidade na construção civil de maneira eficiente, tendo em vista que a busca por materiais como o cimento sustentável auxiliará a redução dos custos de produção o que incidirá em vantagens em toda cadeia produtiva de modo a atender as necessidades específicas da população e da indústria.

5 CONCLUSÃO

Este estudo possibilitou realizar uma reflexão acerca da necessidade de metodologias mais dinâmicas e efetivas junto à temática das alternativas tecnológicas para a construção civil, contextualizando questões pertinentes aos resíduos, ao meio ambiente e aos impactos provocados pelo descarte inadequado de tais insumos.

Evidencia-se com a elaboração deste estudo que existe grande potencial na cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland, deste modo é preciso estimular a utilização de materiais construtivos mais

dinâmicos e eficientes por parte do setor da construção civil, tendo por intuito primordial atribuir uma ótica de qualidade de desempenho, durabilidade e evolução contínua em torno do assunto.

Pode-se afirmar através dos dados expostos neste estudo que a construção civil provoca uma série de impactos ambientais, além de empecilhos de infraestrutura e mobilidade, o que infere a necessidade de se explorar soluções eficazes de curto e longo prazo. A exploração de materiais como o cimento sustentável expõe soluções para sanar problemas de diversas áreas, tratando desde resíduos agrícolas a industriais, com isto são necessários estudos constantes em torno do assunto, a fim de produzir tecnologias e materiais viáveis para proporcionar sustentabilidade a tal âmbito.

A utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para a elaboração de um cimento sustentável permite grandes benefícios, como a redução da emissão de CO_2, colabora para o reaproveitamento de detritos que iriam para os lixões e aterros sanitários e está alinhado com as propostas da economia ecologicamente responsável. Desta maneira este presente estudo demonstra a necessidade da ação conjunta dos diversos agentes envolvidos na cadeia produtiva da construção civil, levando em conta que as indústrias do setor devem se aliar aos poderes públicos e a sociedade como um todo na busca de soluções que promovam transformações válidas diante o quadro atual.

Além dos aspectos abordados um ponto importante deve ser analisado, visto que o esgotamento dos recursos naturais para obtenção do cimento Portland e de outros recursos naturais para a elaboração do concreto implica na busca de pesquisas por novas alternativas de materiais sustentáveis que possam inovar o mercado e favorecer a exploração do cimento sustentável que beneficia diversos setores da economia humana, de maneira geral, constata-se que o assunto é de extrema relevância para a sociedade contemporânea.

Desta maneira este estudo deixa clara a relevância da sustentabilidade para o manejo e produção do cimento e do concreto, enumerando aspectos e características esclarecedoras acerca desta relação. As empresas precisam identificar no cimento sustentável uma vantagem econômica, direta ou indireta, visto que uma conduta negativa prejudicará o meio-ambiente, vindo a corromper a saúde e bem-estar da população, sendo assim é notório que para que a construção civil agrida menos o meio ambiente, é preciso criatividade, utilização de recursos e energias que auxiliem esta demanda.

As questões e nuances que englobam a substituição parcial do cimento Portland pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material é uma demanda imprescindível para que se possa minimizar os impactos ambientais provenientes da disposição inadequada destes materiais em aterros sanitários. Tal assunto vem ganhando cada vez mais notoriedade no Brasil, devido às questões ambientais e econômicas estarem em pauta, além dos exemplos encontrados nos países desenvolvidos que conseguem retirar valor econômico gigantesco acerca de aditivos minerais diversos.

Através das questões que foram englobadas nesse estudo, é possível afirmar que as três bases para a sustentabilidade se dividem nas seguintes áreas: econômica, social e ambiental. A conexão de tais bases em uma gestão de qualidade acerca do cimento sustentável irá produzir benefícios para o desenvolvimento de toda a humanidade, entretanto torna-se necessário a colaboração conjunta de instituições, governo, empresas e população.

A busca por materiais sustentáveis pode se tornar economicamente viável quando se guia pela ideia de qualidade e desempenho, sendo uma excelente oportunidade para o mercado desde que favoreça a aquisição de uma vantagem competitiva. Desta maneira o cimento sustentável deve ter como princípio a prevenção e redução dos resíduos, as tecnologias limpas como o uso da cinza do bagaço de cana-de-açúcar devem produzir compostos cimentícios que diminua a poluição e auxilie na redução do uso de recursos naturais.

Com os dados apresentados neste estudo fica evidente que a cinza do bagaço de cana pode substituir parcialmente o cimento Portland na produção do concreto por apresentar diversos atributos com índices de pozolanicidade desejáveis, dos estudos analisados infere-se que a margem de substituição de 10%, 20% e 30% atribuem uma resistência mecânica ao concreto de maneira semelhante aos produtos industriais, contribuindo junto a questão mecânica, econômica para a sustentabilidade do planeta, auxiliando ainda na redução de emissão de CO_2 diminuindo a quantidade de resíduos de construção e demolição.

Conclui-se que no processo de desenvolvimento da competência atual do setor da construção civil, a qualidade de execução e escolhas de materiais ecologicamente responsáveis, como o cimento sustentável, é a única maneira de superar os desperdícios e preservar o meio ambiente. Sendo que adotar materiais oriundos de produtos, como a cinza cana-de-açúcar, surge como uma ação de auxílio que proporcionará mudanças de comportamento, favorecendo a comunicação a uma pessoa, ou grupo, no sentido de fornecer informações sobre como a atuação dos profissionais de tal área deve ocorrer sendo vital para superar as potenciais crises e conferir a adoção de metodologias que produzam menores gastos e impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

ALVES, Carlos Eduardo Teobaldo; QUELHAS, Osvaldo L. G**. A ecoeficiência e o ecodesign na indústria da construção civil: uma abordagem à prática do desenvolvimento sustentável na gestão de resíduos com uma visão de negócios**. Rio de Janeiro: Associação Educacional Dom Bosco, 2004. Disponível em:<www.aedb.br/seget/arquivos/artigos04/106_seget%20artigo.doc>. Acesso em 25 de abril de 2022.

ANJOS, M. A. S. dos; FERREIRA, D. F.; BORJA, E. V. **Influência da finura do resíduo de biomassa da cana-de-açúcar na atividade pozolânica com a cal**. Holos, ano 28, v. 2, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: 2015. Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BALBO, J. T. **Pavimentos de concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BARBOSA, M. T. et al. **Concreto Ecológico**. Universidade Federal de Juiz de Fora/UFJF. 18º Concurso Falcão Bauer. 2011.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. **Uma breve história do cimento Portland**. Associação Brasileira de Cimento Portland, 2009. Disponível em: <

http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historiado-cimento-portland >. Acesso em 07 de maio de 2022.

BESSA, Sofia Araújo Lima. **Utilização da Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar como Agregado Miúdo em Concreto para Artefatos de Infraestrutura Urbana**. São Carlos. Universidade Federal de São Carlos, 2011. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, São Paulo, 2011.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERZWA, J.C.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2005.

CAMPOS, F. H. A. **Análise do Ciclo de Vida na Construção Civil: Um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto**. Dissertação (Pós-Graduação). Escola de Engenharia da UFMG. 2012.

CASTRO, V. G. **Cimento Portland. In: Compósitos madeira-cimento: um produto sustentável para o Futuro.** Mossoró: EDUFERSA, 2021

CBCS - CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Condutas de Sustentabilidade**. Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/website/condutas-desustentabilidade/show.asp?ppgCode=2AF07A75-7E4C-426B-BF7A-C2F925B2B065>. Acesso em 05 de maio de 2022.

CEOTTO, L. H. **A Construção Civil e o meio ambiente** (3 partes). Notícias da Construção. Ed. 51 a 53, São Paulo, SP. Disponível em: Acesso em 03 de abril de 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar safra 2010/2011, primeiro levantamento, abril/2010**. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, Brasília, 2010

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 2006.

CORTES, Rogério Gomes. **CONTRIBUIÇÕES PARA A SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Revista Eletrônica Sistemas & Gestão. Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, Brasil. 2011.

FABRICIO, M. M. **Industrialização das construções: uma abordagem contemporânea**. 2008. Tese (Livre-Docência em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

GLASSER, F. P. **Fundamental aspects of cement solidification and stabilisation**. Journal of hazardous material, v. 52, 1997.

GRADVOHL, R. **Acumulação de competências tecnológicas e os processos subjacentes de aprendizagem: um estudo em empresas do subsetor de edificações da construção civil participantes de uma rede de aprendizagem**. 2010. Dissertação (Mestrado em Administração) – Centro de Estudos Sociais Aplicados, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2010.
ISAIA, Geralco C. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

JONH, V. M.; SATO, N. M. N.; AGOPYAN, V.; SJÖSTRÖM, C. **Durabilidade e Sustentabilidade: desafios para a Construção Civil Brasileira**. São Paulo, 2001.

JOHN, V. M. **Variabilidade dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. e-Mat – Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil. Vol. 1, n.1, maio 2004. Disponível em: < http://www.emat.info/e-MAT-V1-N1/e-MAT-V1-N1-p22-32.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2022.

KISS, Beatriz Cristina Koska. **CIMENTOS ECOLÓGICOS: ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**. SÃO PAULO. 2010

LIMA, Sofia Araújo; ROSSIGNOLO, João Adriano; CAMPOS, Marília de Freitas. **Pozolanicidade e resistência mecânica de argamassas confeccionadas com cinza da casca da castanha de caju**. Revista Minerva – Pesquisa & Tecnologia, v.5, n.3, setembro 2008. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, USP, Brasil. Disponível em < http://www.fipai.org.br/revista_minerva_eletro_v05n03.html >. Acesso em 05 de abril de 2022.

LOPES, B. C. S.; BRITTO, A. F. S.; SARMENTO, P. A.; DELALIBERA, R. G. **ANÁLISE DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA CINZA DE BAGAÇO DE CANADE-AÇÚCAR COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND**. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, volume 9, nº 3. 2014. Disponível em: <http://revistas.ufg.br/index.php/reec/index>. Acesso em 13 de abril de 2022.

LOPES, F. D. **Créditos de carbono na indústria do cimento**. Orientador: Luiz Elody. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MACEDO, Pamela Camargo**. Avaliação do desempenho de argamassa com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. São Paulo – Dissertação (Mestrado) 2012. - Faculdade de Engenharia –UNESP, 2016.

MAIA, G. A. **Valoração de recursos ambientais**. Orientador: Ademar Ribeiro Romeiro. 2002. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento econômico, espaço e meio ambiente) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

MOTTA, C. J.; MORAIS, W. P.; ROCHA, N. G. **Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. Belo Horizonte: E-xata, 2015.

MOURA, W.A., **Utilização de escória de cobre com adição e agregado miúdo para concreto**. Tese de D. Sc., PPGEC/UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, 2000.

NETO, José da Costa Marques. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Carlos: RiMa, 2005.

OLIVEIRA, M. P.; NOBREGA, A. F.; CAMPO, M. S.; BARBOSA, N. P. **Estudo do caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento Portland. Conferencia Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais: Habitação e infraestrutura de interesse social Brasil** – NOCMAT 2004, Pirassununga. Anais... Pirassununga: USP, 2004.

OLIVEIRA, Sandra Tatiane Martins. MIRANDA, Amanda Carvalho. FILHO, Silverio Catureba da Silva. **Cinza a partir do bagaço da cana-de-açúcar reutilizada como parte integrante em argamassas e concretos na indústria civil**. XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO “A Engenharia de Produção e as novas tecnologias produtivas: indústria 4.0, manufatura aditiva e outras abordagens avançadas de produção” Joinville, SC, Brasil, 10 a 13 de outubro de 2017

PAULA, Marcos Oliveira de. **Potencial das Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. Universidade Federal de Viçosa. 2006.

PESSOA, Giovanna Carolina de Souza. **REDUÇÃO DO CONSUMO DE CIMENTO EM CONCRETO BOMBEÁVEL COM A UTILIZAÇÃO DE ADITIVOS E REDUÇÃO DO TEOR DE ARGAMASSA**. Intellectus Revista Acadêmica Digital Vol 62 N.º1 Ano 2020

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland**. - 13. ed. Rev. por Vladimir Antonio Paulon - São Paulo: Globo, 1998.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia de dissertação científica: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

REBMANN, M. S.; **Durabilidade de concretos estruturais com baixo consumo de cimento Portland e alta resistência**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de estruturas); Escola de Engenharia de São Carlos; Departamento de Engenharia de estruturas; Laboratório de materiais avançados à base de cimento, Universidade de São Paulo; São Carlos-SP, 2011.

SANTOS, A. N**."Diagnóstico da situação dos resíduos de construção e demolição (RCD) no Município de Petrolina (PE)",** Diss. Mestrado de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco (2011).

SANTOS, Eder Carlos Guedes dos. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado**. Tese (mestre em geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007. Disponível em <http://www.eesc.usp.br/geopos/disserteses/guedesdossantos.pdf>. Acesso em 21 de abril de 2022.

SAVASTANO, Jr., Warden, P. G. **Special theme issue: Natural fibre reinforced cement composites**. Cement & Concrete Composites, v.25, n.5, 2003

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO (SNIC, 2004). **Relatório Anual 2004**. Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/relat2004-5web.pdf>. Acesso em 10 de abril de 2022.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Dados do Setor**. 2016. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-do-setor.php>. Acesso em 05 de maio de 2022.

STUTZMAN, P. **Scanning electron microscopy imaging of hydraulic cement microstructure**. Cement & Concrete Composites. v. 26, 2004.

SUSILORINI, M. I. R. **'Green' admixtures for sustainable concrete implemented to subsidized apartment**. Seminário Nacional 2009 – Jurusan Teknik Sipil, FT-UKM, 15 Agosto, 2009.

TORGAL, F.P.; JALALI, S. **A Sustentabilidade dos Materiais de Construção. 2ª ed. Portugal**. TecMinho. 2010.

VALENCIANO, Martha Del C. Mesa; FREIRE, Wesley J. **Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar**. Engenharia Agrícola, v.24, n.3. Jaboticabal, 2004. p. 484-492. Disponível em < http://www.scielo.br/pdf/eagri/v24n3/a01v24n3.pdf>. Acesso em 11 de maio de 2022.

VASCONCELOS, Marcela Correia de Araújo. **Avaliação da atividade pozolânica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar utilizando métodos físicos**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTANABLE DEVELOPMENT (WBCS). CSI **– Iniciativa para a sustentabilidade do cimento**. Plano de Ação, resumo julho de 2010. Copyright World Business Council for Sustainable Development. Inglaterra, 2010.

WORRELL, W. & VESILIND, P. (2001) **Solid waste engineering**. 2. ed. Stamford: Cengage Learning.

ZUCCO, Loris L.; BERALDO, Antonio L. **Efeito da adição de cinza da casca de arroz em misturas cimento-casca de arroz**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal v. 28, n. 2. 2008. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162008000200002&lng=pt&pt&nrm=iso>. Acesso em 13 de abril de 2022.