

## **Geopolímeros: Uma revisão das características e aplicações na construção civil<sup>1</sup>**

*Geopolymers: A review of characteristics and applications in civil construction*

*Geopolímeros: Una revisión de características e aplicaciones en la construcción civil*

Eixo temático: Engenharia civil, Materiais Naturais e Sintéticos

**PAIVA, Mayanne Vieira de, Unifesspa, mayvieirap@gmail.com**

**CARVALHO, Carlos Maviael, Unifesspa, mayvieirap@gmail.com**

**SIMAS, Tarciso Binoti, Unifesspa, tarcisobinoti@gmail.com**

**Resumo:** A produção de cimento Portland convencional é um processo com alto consumo de energia e que gera impactos ambientais, em vista disso, pesquisadores e cientistas buscam alternativas mais sustentáveis que possam substituí-lo. Neste cenário, os geopolímeros chamam a atenção por apresentarem propriedades mecânicas próximas às do cimento além de emitirem menos gases poluentes em sua produção, já que possibilitam a reutilização de resíduos industriais que não possuem descarte adequado na natureza. Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica de cunho expositivo descritivo e tem por objetivo incentivar e estimular a aplicação dos geopolímeros em estudos científicos, buscando alternativas viáveis e econômicas para produção desses materiais e possibilitando sua inserção no mercado regional da construção civil. Para tal, priorizou-se a análise de estudos sobre os geopolímeros com diferentes composições e seus usos na construção civil, os quais apresentam testes científicos em materiais com a incorporação de alguns resíduos industriais na composição, investigando suas propriedades físico-químicas e viabilidade de aplicação. Através da análise bibliográfica, percebeu-se os benefícios e dificuldades para aplicação na construção civil, demonstrando os avanços já realizados na área e direcionando futuros estudos utilizando resíduos da região para diminuir custos e viabilizar o acesso a esse tipo de material.

**Palavras-chaves:** Alternativas sustentáveis. Geopolímeros. Construção civil.

***Abstract:** The production of conventional Portland cement is a process with high energy consumption and that generates environmental impacts. In view of this, researchers and scientists are looking for more sustainable alternatives that can replace it. In this scenario, geopolymers call attention for having mechanical properties close to those of cement, in addition to emitting less polluting gases in their production, since they allow the reuse of industrial waste that does not have proper disposal in nature. This work presents a bibliographic review of a descriptive expository nature and aims to encourage and stimulate the application of geopolymers in scientific studies, seeking viable and economical alternatives for the production of these materials and enabling their insertion in the regional civil construction market. To this end, priority was given to the analysis of studies on geopolymers with different compositions and their uses in civil construction, which present scientific tests on materials with the incorporation of some industrial residues in the composition, investigating*

---

<sup>1</sup>PAIVA, Mayanne Vieira de *et al.* Geopolímeros: Uma revisão das características e aplicações na construção civil. In: CONGRESSO ARAGUAIENSE DE CIÊNCIAS EXATA, TECNOLÓGICA E SOCIAL APLICADA, p. 1-11, 2020, Santana do Araguaia. **Anais...** Santana do Araguaia: II CONARA, 2020.

*their physical-chemical properties and feasibility of application . Through the bibliographic analysis, the benefits and difficulties for application in civil construction were realized, demonstrating the advances already made in the area and directing future studies using waste from the region to reduce costs and enable access to this type of material.*

**Keywords:** *Sustainable alternatives. Geopolymers. Construction.*

**Resumen:** *La producción de cemento Portland convencional es un proceso de alto consumo energético y que genera impactos ambientales, por lo que investigadores y científicos buscan alternativas más sostenibles que puedan reemplazarlo. En este escenario, los geopolímeros llaman la atención por tener propiedades mecánicas cercanas a las del cemento, además de emitir gases menos contaminantes en su producción, ya que permiten la reutilización de residuos industriales que no tienen una disposición adecuada en la naturaleza. Este trabajo presenta una revisión bibliográfica de carácter descriptivo expositivo y tiene como objetivo incentivar y estimular la aplicación de geopolímeros en estudios científicos, buscando alternativas viables y económicas para la producción de estos materiales y posibilitando su inserción en el mercado regional de la construcción civil. Para ello, se priorizó el análisis de estudios sobre geopolímeros con diferentes composiciones y sus usos en la construcción civil, que presenten ensayos científicos sobre materiales con la incorporación de algunos residuos industriales en la composición, investigando sus propiedades físico-químicas y viabilidad de aplicación. A través del análisis bibliográfico, se concretaron los beneficios y dificultades para la aplicación en la construcción civil, demostrando los avances ya realizados en el área y dirigiendo futuros estudios utilizando residuos de la región para reducir costos y posibilitar el acceso a este tipo de material.*

**Palabras clave:** *Alternativas sostenibles. Geopolímeros. Construcción civil.*

## 1 Introdução

A procura por durabilidade e segurança para as edificações conduziu a humanidade à experimentação de diversos materiais aglomerantes, dentre os quais se destaca o cimento Portland como o mais utilizado no mundo. A produção de cimento Portland convencional é um processo com alto consumo de energia e que gera impactos ambientais como a emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, em vista disso, pesquisadores e cientistas buscam há décadas, alternativas mais sustentáveis que possam substituí-lo. Neste cenário, os geopolímeros têm chamado a atenção por apresentarem propriedades mecânicas próximas às do cimento além de emitirem menos gases poluentes em sua produção (ROSETTO, 2017).

Entre as décadas de 50 e 60, Glukhovsky fez descobertas na produção de ligantes por ativação alcalina de materiais aluminossilicatos, denominados “cimento-solo”, posteriormente Krivenko chamou esses materiais de Geocimentos, para destacar a similaridade desses ligantes aos polímeros orgânicos encontrados na crosta terrestre (SHI et al., 2011). Na década de 70, Joseph Davidovits patenteou o termo “geopolímero” para designar a classe de ligantes alcalinos também conhecidos como polímeros inorgânicos, a qual era produto de seus estudos há alguns anos e que se popularizou, devido à qualidade dos estudos ao adotar esse novo termo (BRITO, 2018). Os polissilatos são também outra terminologia adotada por Davidovits em 1976 para os geopolímeros. Polissilatos é a abreviatura de poli-silico-aluminatos (VASSALO, 2013).

Os geopolímeros apresentam um grande potencial de uso na indústria da construção civil, trata-se de uma matriz geopolimérica composta por aluminossilicatos ativados por uma solução alcalina, podem ser fabricados com qualquer material ou resíduo que apresente uma quantidade adequada de silício (Si) e alumínio (Al) semi cristalinos ou amorfos (BHARATH, 2014). Assim, é possível utilizar para a sua produção, materiais que são rejeitos industriais e não tem

um descarte adequado na natureza (ROSETTO, 2017).

Neste trabalho, deu-se prioridade à análise de estudos sobre os geopolímeros e suas diferentes composições, bem como seus usos na construção civil. Os estudos em questão, apresentam testes científicos com a incorporação de alguns resíduos industriais na composição do material, investigando suas propriedades físico-químicas e viabilidade de aplicação. Através da análise dos resultados desses estudos, é possível ter uma base de dados para direcionar futuras pesquisas no município de Santana do Araguaia, utilizando resíduos da região para diminuir custos e viabilizar o acesso a esse tipo de material .

Esse trabalho é uma revisão bibliográfica de cunho expositivo descritivo e tem por objetivo incentivar e estimular a aplicação dos geopolímeros em estudos científicos com a finalidade de mapear suas propriedades e usos, buscando alternativas viáveis e econômicas para produção desses materiais, possibilitando sua inserção no mercado regional da construção civil.

## **2 Referencial teórico**

Nesta seção, serão abordados os assuntos relevantes para o entendimento e desenvolvimento do tema.

### **2.1 Álcali-ativados x geopolímeros**

Há uma pequena divergência entre a definição dos geopolímeros e materiais álcali-ativados, alguns cientistas e engenheiros civis referem-se a ambos como sendo sinônimos, porém como defende Davidovits (2014), há uma grande diferença entre eles. Utilizando como exemplo a escória de alto forno álcali-ativada e o geopolímero com adição de escória, ele explica que a ativação alcalina é um processo de estabilização química na qual se obtém uma estrutura resistente à compressão, mas instável e sujeita à corrosões, diferente do geopolímero, que passa pelo processo completo de geopolimerização, sendo, após a ativação alcalina, adicionado um elemento de rede como o metacaulim, que interage com os álcali livres, criando uma rede tridimensional que fornece um material estável com melhores resultados (DAVIDOVITS, 2014).

Palomo et al. (1999) estabeleceram dois modelos de sistema de ativação alcalina para os materiais suplementares, que definem a diferença entre cimentos álcali-ativados e geopolímeros. O primeiro modelo se aplica aos materiais contendo Silício (Si) e Cálcio (Ca), como as escórias de alto forno, que são ativados com solução alcalina de baixa concentração e que têm o silicato de cálcio hidratado como produto principal da reação. O segundo modelo é referente aos materiais com Silício (Si) e Alumínio (Al), tipo o metacaulim e as cinzas volantes, que são ativados com soluções de média à alta alcalinidade e que possuem como resultado da reação, um mineral de aluminossilicatos hidratados, a zeólita, como os polímeros. Davidovits (1994) denomina este segundo modelo de geopolímero (VASSALO, 2013). Os materiais ativados alcalinamente com intenção de produzir materiais cimentícios, de certo modo, podem ser considerados como uma zeólita em que não foi alcançada a última etapa que é a cristalização. Para produção de zeólitas a taxa de reação deve ser rápida no início, mas extremamente lenta após o endurecimento do material (FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ et al., 2005).

### **2.2 Composição química**

A eficiência da ativação alcalina depende da composição química e mineralógica da matéria-prima, assim como da proporção das razões molares dos componentes e das condições de cura (VASSALO, 2013), influenciando na suas propriedades e aplicações dos geopolímeros. Para sintetizar este polímero, é necessária uma reação em meio aquoso, entre uma solução alcalina altamente concentrada (solução ativadora) e uma fonte de aluminossilicatos (FORNASA,

2017). Como ativadores, são utilizados compostos de pH elevado como: hidróxidos de metais alcalinos, silicatos, aluminatos, carbonatos, sulfatos ou bases orgânicas. Os precursores podem ser todo material que possua sílica, alumina e/ou cálcio reativos, características encontradas entre materiais naturais e subprodutos industriais como metacaulim, sílica ativa e cinzas volantes.

O geopolímero é obtido a partir da reação de policondensação, denominada geopolimerização. A policondensação, é a dissolução da sílica e alumina por um meio alcalino, quebrando assim as ligações originais da matéria-prima, formando um gel, que é convertido numa malha tridimensional de silico-aluminato, processo esse, com uma evolução acelerada. Após a formação do gel, ocorre a reorganização e consequentemente a polimerização e endurecimento da argamassa (CESARI, 2015).

Embora haja uma variedade de materiais que podem ser utilizados como fonte de aluminossilicatos, os que apresentam resultados mais relevantes na literatura são o Metacaulim e a Cinza volante, se tornando os mais estudados até o momento. Como solução ativadora geralmente é utilizada uma combinação de Hidróxido de sódio e Silicato de sódio. As próximas seções trazem uma breve descrição sobre os materiais mais utilizados para síntese de geopolímeros.

### 2.2.1 *Metacaulim*

O metacaulim é uma das matérias-primas mais abundantes para a fabricação dos geopolímeros, um material com grande potencial de reação que apresenta proporções de sílica e alumina que variam em função de sua origem (VASSALO, 2013). Tem sido amplamente utilizado para esta finalidade devido principalmente à sua taxa de dissolução elevada em meio alcalino e à facilidade de controle da reação Si/Al (CESARI, 2015).

É obtido pela desidroxilação (perda de íons OH da estrutura cristalina original) do mineral caulim, através de tratamentos térmicos. Esse processo gera uma estrutura amorfa que o torna mais reativo (BOCA SANTA, 2012), o que explica suas propriedades pozolânicas e sua eficiência para a ativação alcalina.

### 2.2.2 *Cinzas volantes*

As cinzas volantes (fly-ash) são resíduos da combustão de carvão mineral e podem ser utilizadas como fonte de Al e Si junto com o metacaulim na reação de síntese do geopolímero. Segundo Brito (2018) a cadeia produtiva do alumínio tem como um dos principais resíduos impactantes ao meio ambiente a geração de cinza volante, as quais cristalizam-se parcialmente durante a queima e perdem parte do seu estado amorfo, por isso suas propriedades reativas para combinar quimicamente durante a reação de geopolimerização são reduzidas. Por este motivo, as cinzas volantes são geralmente utilizadas juntamente com o metacaulim.

### 2.2.3 *Hidróxido de sódio*

Os ativadores são os responsáveis pela dissolução dos aluminossilicatos em um meio aquoso e com condições altamente alcalinas (DAVIDOVITS, 2009). Para que o processo ocorra corretamente e as ligações da matéria-prima sejam quebradas, é necessário um ativador de concentração elevada, como muitos autores defendem, a concentração de hidróxido de sódio (NaOH) deve ser entre 5 a 16 mols (BOCA SANTA, 2012).

### 2.2.4 *Silicato de sódio*

Os silicatos de sódio são os silicatos solúveis mais comuns, encontrados em solução líquida e na forma sólida. Por apresentar fácil manipulação, ser atóxico e não inflamável é um produto

químico com ampla aplicação, além de destacar-se como substituto em formulações e processos que procuram alternativas ecologicamente corretas (SILVA, 2011). Segundo o mesmo autor, a aplicação de silicato de sódio em cimentos e refratários, tem a função de aditivo para acelerar a cura do cimento.

### 2.2.5 *Sílica ativa*

A microsíllica ou sílica ativa, é um subproduto oriundo das indústrias de produção de silício metálico ou de ligas de ferro-silício a partir de quartzo de elevada pureza e carvão em fornos elétricos a arco voltaico. Os efeitos da sílica ativa, quando adicionada em concretos e argamassas, são observados em função de suas propriedades física e química. O efeito físico é devido à forma esférica das partículas e sua extrema finura, com um diâmetro médio 100 vezes menor que o do cimento, que atua como um microfíler, com preenchimento dos espaços vazios deixados durante a hidratação do cimento e diminuição da capilaridade, o que proporciona maior densificação da pasta de cimento e, por sua vez, do concreto, argamassa e geopolímero (BRITO, 2018). A incorporação de microsíllica na formação de geopolímero mantém a razão de Si/Al nas sínteses e também acelera a reação de geopolimerização dos silico aluminatos com solução alcalina (WAN, et al. 2017).

### 2.2.6 *Água*

Wallah et al (2006) esclarecem que a água em uma mistura geopolimérica não tem nenhuma função na reação química, apenas fornece trabalhabilidade à mistura durante a manipulação. Ainda de acordo com os mesmos autores, a água é liberada durante a reação, expelida da matriz no processo de cura e secagem (VASSALO, 2013). Essa observação é confirmada por Brito (2018), o qual descreve que no processo de geopolimerização, a água confere plasticidade à mistura, no entanto, o excesso de água interfere na reação de geopolimerização, pois fica presa na rede dos geopolímeros e gera porosidade, dificultando o seu processo de cura e diminuindo das propriedades mecânicas.

## 2.3 *Propriedades*

Para conhecer as características e propriedades dos geopolímeros, assim como de qualquer outro ligante, é importante compreender seu comportamento no estado fresco e endurecido.

### 2.3.1 *Estado fresco*

Nesse estado, a principal propriedade é a trabalhabilidade, a qual determina a plasticidade, consistência e facilidade de mistura da argamassa. Essa propriedade pode ser alterada com a variação nas proporções de água da mistura e variação na relação líquido/sólido (SIMÕES et al, 2012). Segundo Pinto (2006), em estado fresco os geopolímeros apresentam propriedades como: boa coesão, boa trabalhabilidade e acabamento superficial, o que resulta em um rápido ganho de resistência mecânica e dureza. Entretanto, como alerta Vassalo (2013), estudos demonstram que as propriedades da argamassa geopolimérica podem ser afetadas com uma pequena alteração na relação sílica/alumina, fazendo-se necessário um estudo completo das reatividades das matérias primas.

### 2.3.2 *Estado endurecido*

No estado endurecido, o comportamento físico e mecânico são os mais relevantes. Entre as propriedades físicas, tem-se a absorção de água, porosidade aparente, densidade e permeabilidade. Dentro das características mecânicas, se destaca a resistência à compressão, que é o parâmetro fundamental para os cálculos estruturais nas obras de construção civil. No geral, os materiais geopoliméricos têm algumas propriedades em comum como: alta resistência inicial, durabilidade, elevada resistência à ataques químicos de ácidos e sulfatos, habilidade de

imobilizar compostos tóxicos e radioativos, baixas porosidade e permeabilidade e resistência à altas temperaturas (ROSSETTO, 2017).

Essas características físico-químicas garantem pega rápida, boa trabalhabilidade, coesão e acabamento superficial, que são observadas no estado fresco, associadas ao rápido desenvolvimento de resistência mecânica e dureza superficial (PINTO, 2006). Alguns trabalhos apontam que o endurecimento dos geopolímeros deve-se à policondensação do aluminato hidrolisado e o silicato, porém como afirma Brito (2018) ainda não há estudos suficientes para compreender a forma como um geopolímero ganha consistência e endurece, mas o tipo de estrutura que se obtém é estável e confere durabilidade ao material.

#### 2.4 Aplicações

O concreto geopolimérico é utilizado na Austrália, Canadá e Europa como matéria-prima para dormentes de ferrovias, painéis pré-fabricados de edificações, blocos, reparações de rodovias, obras de infraestrutura e outros (SONAFRANK, 2010), o que demonstra os avanços que estão sendo feitos ao redor do mundo em relação à essa tecnologia. Como descreve Boca Santa (2012), os materiais geopoliméricos possuem um potencial de aplicação variado, tendo como principais usos: materiais de construção e pavimentação, materiais resistentes ao fogo, isolantes térmicos, barreira de contenção para resíduos tóxicos e radioativos, bem como aplicações menos usuais como em refratários resistentes à choque térmico, telhas cerâmicas e até artefatos de decoração. Suas propriedades proporcionam aos geopolímeros, aplicações em quase todos os domínios da indústria (PINTO, 2004).

Os geopolímeros foram descritos pela primeira vez em patentes por Prof. Davidovits como uma adaptação moderna do aglomerante utilizado pelos romanos e egípcios. Davidovits (1994) atesta através de estudos químicos e mineralógicos que os blocos das pirâmides do Egito não são de pedra calcária natural, mas sim de um aglomerante feito da mistura de calcário de Gizé com hidróxido de sódio, produzido no local pela mistura de cal, carbonato de sódio e água (VASSALO, 2013), indicando a utilização de geopolímeros há milhares de anos atrás.

Um dos principais exemplos de aplicação de sucesso para fins estruturais citado em vários estudos, é o edifício *Global Change Institute da University of Queensland* em Brisbane, Austrália (Figura 1). Inaugurado em 2013, o centro de pesquisa é um referencial em construção sustentável, composto por lajes pré-moldadas de concreto geopolimérico à base de escória/cinza volante (Figura 2) de 10,5 metros de comprimento em três andares, totalizando 33 painéis, o acabamento do próprio material garantiu a aparência estética, já que não foi utilizado nenhum tipo de pintura (DAVIDOVITS, 2014).

Figura 1 – Global Change Institute



Fonte: In Habitat (2013)

Figura 2 – Painéis pré-moldados



Fonte: In Habitat (2013)

Outra aplicação notável também se encontra na Austrália, o aeroporto *Brisbane West Wellcamp Airport* (BWWA) (ver Figura 3), no qual foram utilizados 40.000 m<sup>3</sup> (100.000 toneladas) de concreto geopolimérico, se tornando o maior projeto com aplicação dessa ‘nova’ classe de concreto no mundo (ver Figura 4). Com isso, evitou-se a emissão de 6.600 toneladas de gás carbônico na atmosfera (Institute, 2015).

Figura 3 – BWWA em funcionamento



Fonte: Glasby T., et al, Wagners (2015)

Figura 4 – Obras de Pavimentação no BWWA



Fonte: Glasby T., et al, Wagners (2015)

Atualmente seu uso tem se expandido conforme os avanços nas pesquisas, não se restringindo à construção civil. Devido à boa resistência ao calor, os geopolímeros têm sido estudados como parte integrante de compósitos e pode se aplicar em diferentes áreas, onde a resistência ao calor é fundamental, como é o caso dos aviões comerciais, das plataformas marinhas, dos barcos e dos transportes terrestres, onde o risco de incêndio é um dos principais fatores em termos de design devido às saídas restritas (DAVIDOVITS, 1997).

### 3 Discussões

Embora a utilização dos concretos e cimentos geopoliméricos ainda é restringida aos países desenvolvidos, há grandes pesquisas dirigidas para o seu desenvolvimento, devido à ampla gama de aplicações para estes materiais (VASSALO, 2013). Brito (2018) afirma que essas pesquisas apresentam ótimas possibilidades de implantação em todo o mundo e esses materiais podem ser produzidos em grande escala, suprimindo a demanda de cimento em um mercado que cresce a cada ano.

Diante da necessidade de minimizar a poluição da água, solo e do ar, é de fundamental importância os estudos com o reaproveitamento de resíduos para serem usados como matéria-prima de novos produtos. Os estudos nessa área estão sendo alicerçados com grande possibilidades de implantação a nível de produção mundial, a fim de que esses materiais em pesquisa possam ser produzidos em larga escala, compensando assim a demanda da produção do cimento que cresce cada vez mais. O campo de aplicação dos geopolímeros ainda encontra-se limitado por ser uma tecnologia recente, no entanto, devido às suas características particulares, é possível relatar a respeito da sua diversidade nas aplicações industriais. Um aglomerante com propriedades como resistência à compressão, cura rápida, baixa permeabilidade, resistência à ácidos, altas temperaturas e baixo custo, terá obviamente inúmeras possibilidades de aplicações (BRITO, 2018).

Segundo dados da *Wincret Designer Concrete Products Ltda.* (2016), a maior desvantagem dos concretos à base de ligantes obtidos por álcali-ativação, se deve ao fato de apresentarem um custo substancialmente superior aos concretos correntes à base de cimento Portland. A explicação, reside fundamentalmente no custo dos ativadores alcalinos, o que quer dizer que o custo dos precursores é quase irrelevante, não sendo possível conseguir reduções no custo final através de reduções neste material (WINCRET DESIGNER CONCRETE PRODUCTS LTDA., 2016). Apesar dessas afirmações, alguns dos estudos analisados apresentam soluções para a produção alternativa de ativadores, que torna o geopolímero ainda mais promissor do ponto de vista econômico, abrindo maiores possibilidades de implantação do seu uso em larga escala.

### 4 Conclusões

A partir da análise das literaturas publicadas, percebeu-se uma predominância de estudos utilizando metacaulim e cinza volante como precursores para produção de geopolímeros, isso pode ser justificado por meio da composição química desses materiais pois ambos apresentam níveis satisfatórios de silício e alumínio e boa reatividade. No entanto, por mais que sejam resíduos abundantes e propícios para esta finalidade, o Metacaulim é o material mais viável por apresentar maior facilidade de controle na relação molar sílica/alumina, enquanto que a cinza volante possui dificuldades no controle da sua composição química pois depende da qualidade do carvão, condições de queima etc., perdendo parte do seu estado amorfo. Tratando-se dos ativadores, o sódio é o metal alcalino mais utilizado devido ao acesso mais fácil e por conferir uma rápida dissolução dos aluminossilicatos, geralmente utiliza-se o hidróxido de sódio em conjunto com o silicato de sódio para controle dos silicatos na reação.



Com relação às propriedades geopoliméricas, concluiu-se que os principais fatores determinantes são a relação líquido/sólido e relação sílica/alumina, as características apresentadas são compatíveis com as argamassas convencionais de cimento, se mostrando uma alternativa interessante principalmente no parâmetro resistência à compressão. Além disso, a crescente busca por materiais alternativos e diferentes composições químicas demonstram que as propriedades podem ser adequadas para cada finalidade de uso, o que os tornam materiais bastante versáteis e ambientalmente amigáveis.

A possibilidade de aplicar tais materiais na construção civil se apresenta muito vantajosa, uma vez que são utilizados resíduos industriais como fonte de aluminossilicatos diminuindo assim as emissões de gases e também o custo para sua produção. Ainda há algumas dificuldades encontradas, pois o ativador alcalino necessário para a reação é o material mais caro e mais complicado de se ter acesso, além de ser o maior emissor de gases da reação devido ao seu processo de produção, entretanto já existem pesquisas e trabalhos voltados para o estudo de novas tecnologias de produção de silicatos alternativos com bons resultados, o que traz um potencial ainda maior para a aplicação dos geopolímeros e seu uso em larga escala, como já é uma realidade na Austrália e alguns países da Europa.

Para as próximas etapas deste trabalho, já se tem em vista algumas propostas de estudos mais aprofundados sobre a síntese de geopolímeros como a relação molar sílica/alumina e a temperatura e condições de cura, parâmetros determinantes na produção desse tipo de material. Também pretende-se buscar alternativas locais para a produção de geopolímeros, tendo em vista que as argilas também são boas fontes de aluminossilicatos e o município de Santana do Araguaia apresenta abundância de um certo tipo de argila, a proposta de levar este estudo para a prática tornou-se imprescindível, uma forma de contribuir para a sociedade e realizar novas descobertas na área.

## Referências

- BHARATH, R. R. **Rheology of geopolymer concrete**, 2014. Disponível em: [http://www.kscst.iisc.ernet.in/spp/37\\_series/spp37s/synopsis\\_seminar/025\\_37S1026.pdf](http://www.kscst.iisc.ernet.in/spp/37_series/spp37s/synopsis_seminar/025_37S1026.pdf)  
Acesso em: 30 jun. 2020.
- BOCA SANTA, R. A. A. **Desenvolvimento de geopolímeros a partir de cinzas pesadas oriundas da queima do carvão mineral e metacaulim sintetizado a partir de resíduo da indústria de papel**. 2012. 34 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2012.
- BRITO, W .S. **Ativação Alcalina Para a Produção De Geopolímeros a Partir de Resíduo Industrial**. 2018. 20 p . Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Pará - UFPA, Belém, 2018.
- CESARI, Vanessa Fernandes. **Influência do uso de aditivos dispersantes em pastas de geopolímero produzido com cinza volante e hidróxido de sódio**. 2015. 128 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- DAVIDOVITS, J. **A situação da pesquisa e desenvolvimento do geopolímero 2014**. Geopolymer Camp 2014. Disponível em: <http://www.geopolymer.com.br/pdf/R&D2014.pdf>  
Acesso em: 17 jun. 2020.
- DAVIDOVITS, J. **properties of geopolymer cements**. P.V. Krivenko (Ed.), Proceedings of the First International Conference on Alkaline Cements and Concretes, Ukraine, p. 131–149.1994.

DAVIDOVITS, J. **Geopolymer** '88, 1 (1979) 49.

FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; PALOMO, A. **Composition and Microstructure of Alkali Activated Fly Ash Binder: Effect of the Activator**. Cement And Concrete Research, Madrid, v.29. p.1204-1209, May. 2005.

FORNASA, B.L. **Utilização de Concreto Reciclado para a Produção de Geopolímero**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia de Infraestrutura - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville. Joinville, 2017.

GLASBY, T. et al. **EFC Geopolymer Concrete Aircraft Pavements at Brisbane West Wellcamp Airport** 2015. 3 p. Concrete 2015 Conference. Melbourne Australia 2015. Disponível em : [https://www.wagner.com.au/media/1512/bwwa-efc-pavements\\_2015.pdf](https://www.wagner.com.au/media/1512/bwwa-efc-pavements_2015.pdf)  
Acesso em: 30 jun. 2020

INSTITUTE, Geopolymer. **Visit to Geopolymer Concrete Airport and EcoBuilding**. 2015. Disponível em: <https://www.geopolymer.org/news/visit-airport-ecobuilding/>. Acesso em: 30 jun. 2020.

MEINHOLD, B., **The Global Change Institute Operates in a Net Zero, Carbon Neutral Research Center in Brisbane**. 2013. In Habitat. Disponível em: <https://inhabitat.com/the-global-change-institute-operates-in-a-net-zero-carbon-neutral-research-center-in-brisbane/>  
Acesso em: 30 jun. 2020.

PALOMO, A.; GRUTZECK, M.W.; BLANCO, M.T. **Alkali-Activated Fly Ashes a Cement for the Future**. Cement and Concrete, Elsevier A ciencia Ltda, p. 1323-1329. 1999.

PINTO T. A., **Novos Sistemas Ligantes Obtidos por Ativação Alcalina. Construção Magazine**. Tese de Doutorado da Universidade de Minho, Portugal 2004. Disponível em: [http://home.utad.pt/~ibentes/index\\_files/Novos%20Materiais.pdf](http://home.utad.pt/~ibentes/index_files/Novos%20Materiais.pdf). Acesso em: 30 jun. 2020.

PINTO, A.T. **Introdução ao Estudo dos Geopolímeros**. Editora UTAD, Portugal, 105 p., 2006.

ROSSETTO, M. **Desenvolvimento de geopolímeros com incorporação de lodo de Estação de Tratamento de Água**. 2017. p 4. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia de Infraestrutura). Centro Tecnológico de Joinville. Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville 2017.

SHI, C., JIMENEZ A.F., PALOMO A. **New cements for the 21st century: The pursuit of an alternative to Portland cement**, Cement and Concrete Research, vol. 41 (7), p. 750-763, 2011.

SILVA, F. J.; THOMAZ, E. C.; DIAS, D. P.; OLIVEIRA, M.C.; THAUMATURGO, C. **Cimento Polimérico Inorgânico para Aplicações Cívicas**. Instituto Militar de Engenharia, 2010.

SILVA, J.P.P., **Mecanismo de ação do Silicato de Sódio como Depressor em Flotação**. 2011. Dissertação(Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral - Universidade Federal do Pernambuco - UFP, Recife, 2011.

SIMÕES, A., et al. **Ciência e Engenharia de Materiais de Construção**. 1. ed. atual. São Paulo: IST Press, 2012. 1057 p.

SONAFRANK, GH COLE, **Investigating 21<sup>o</sup> Century cement Production** . Cold Climate.Housing Research Center (CCHRC). Alaska, p.114, 2010.

VASSALO, E. A. S. **Obtenção de Geopolímero a partir de Metacaulim ativado**. 2013. 103 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

WALLAH, S.E.; RANGAN, B.V. **Low-calcium fly ash-based geopolymer concrete: Longterm properties**. Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth, Australia, p. 107, 2006.

WAN, Q.; FENG, R.; SHAOXIAN, S.; DIANA, F.; CHOLICO-GONZALEZ, E.; NOEMÍ, L.O. **Combination formation in the reinforcement of metakaolin geopolymers with quartz sand**. Cement and Concrete Composites, v. 80 p. 115-122 mar. 2017.

WINCRET DESIGNER CONCRETE PRODUCTS LTDA. **Cimento Portland versus Ligantes Geopoliméricos Considerações econômicas sobre as implicações do mercado de carbono no custo dos concretos**. Disponível em <http://www.geopolymer.com.br/PDF/cpxgp.pdf> . Acesso em: 30 jun. 2020.