

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS CERÂMICOS REFRAATÓRIOS À BASE DE ALUMINA COM ADIÇÃO DE RESÍDUO CALCÁRIO

RESUMO

A necessidade de uma engenharia que gere menos impacto ambiental induz a necessidade de desenvolver produtos a partir de matérias-primas alternativas. Atualmente, na região do Cariri, há a extração da pedra Cariri para uso principalmente como placa para revestimento na construção civil. Essa extração gera grande quantidade de rejeitos que possuem composição carbonática (ricos em CaCO_3) e, em menor proporção, outros minerais que contêm óxidos de Fe, Si, Al, Mg. O carbonato de cálcio é usado em diversas aplicações industriais, contudo o acúmulo desse rejeito continua. Um dos usos do CaCO_3 é como matéria-prima para obter aluminatos de cálcio. Aluminatos de cálcio, dependendo da proporção entre Al e Ca, apresentam características que possibilitam seu uso em aplicações diversas. Os que contêm maior quantidade de Ca apresentam propriedades cimentícias, refratárias e boa resistência ao ataque químico; são conhecidos como cimentos de alta alumina ou cimentos de aluminatos de cálcio (CAC) e são os ligantes mais utilizados em processos que envolvem altas temperaturas. Já, aluminato de cálcio com menor percentual de Ca, hexaluminato de cálcio ($\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$ ou CA6) não se hidrata ou seja não forma estrutura cimentícia, por outro são tipicamente cerâmicas porosas, que possuem alto grau de refratariedade e resistência à corrosão química). O CA6 é usado como isolante térmico, biomaterial, suporte para processos catalíticos ou elementos filtrantes de fluidos quentes. Atualmente, os produtos de aluminatos de cálcio são produzidos a partir de matérias-primas purificadas e/ou sintéticas. Esse projeto visa inovar ao buscar o desenvolvimento de produtos compostos por aluminatos de cálcio a partir de resíduo da pedra Cariri. O alcance desse objetivo trará uma nova possibilidade de uso para o rejeito, fomentando o desenvolvimento sustentável da região do Cariri.

PALAVRAS-CHAVE: Cimento Refratário; Refratários Porosos; Aluminatos de Cálcio; Reaproveitamento; Pedra Cariri.

1 INTRODUÇÃO

1.1 MATERIAIS CERÂMICOS REFRAATÓRIOS

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM, 2016), o grupo dos materiais cerâmicos refratários compreende uma diversidade de produtos, que têm como finalidade suportar temperaturas elevadas nas condições específicas de processo e de operação dos equipamentos industriais, que em geral envolvem esforços mecânicos, ataques químicos, variações bruscas de temperatura e outras solicitações.

De acordo com Callister (2012), o desempenho de uma cerâmica refratária depende em grande parte de sua composição, bem como de variáveis tais seu tamanho de partícula e porosidade. Trazendo com isso aplicações típicas como revestimentos de fornos para o beneficiamento de metais, fabricação de vidros, tratamentos térmicos metalúrgicos e geração de energia.

Os materiais refratários podem ser classificados por diferentes critérios, tais como, seu comportamento químico; sua composição química; sua forma física ou processo de fabricação; e como transmitem o calor.

Segundo seu comportamento ao ser submetido ao ataque químico, esses materiais são classificados em ácidos (produtos com predominância de SiO_2), básicos (constituídos essencialmente por óxidos como MgO e CaO) e neutros (matérias-primas ricas em Al_2O_3 e ZrO_2).

Conforme o processo de fabricação, a Associação Brasileira de Normas Técnicas – Norma Brasileira - ABNT - NBR 10237 (2001) classifica os materiais refratários em dois grupos: materiais conformados e materiais não conformados. Os materiais conformados, ou moldados, são aqueles materiais moldados antes de sua utilização, como: tijolos, blocos, placas, etc. Os materiais não conformados, ou monolíticos, são aqueles moldados no momento de sua aplicação, como os concretos e argamassas refratárias, entre outros isolantes ou mantas isolantes (SOBROSA, 2014).

A classificação segundo a composição química considera o componente principal que o material é formado: sílica, sílico-aluminoso, aluminoso, mulita, magnesiano-cromítico, cromítico-magnesiano, carbetos de silício, grafita, carbono, zircônia, zirconita, espinélio e outros (ABCERAM, 2016).

A transmissão de calor sofre influência da condutibilidade térmica das fases presentes na microestrutura. Além da condutibilidade intrínseca das fases cristalinas e amorfas, os poros presentes na microestrutura reduzem a transmissão de calor. Assim, materiais mais densos conduzem mais o calor e materiais com maior conteúdo de poros são mais isolantes.

1.2 ALUMINATOS DE CALCIO

Os refratários aluminosos contêm mais de 45% alumina (Al_2O_3). Quanto mais alto percentual de Al_2O_3 , maior é a refratariedade do material e maior é a sua resistência mecânica a altas temperaturas (LEE, 2015). Várias fases são formadas combinando a alumina com outros componentes.

Os aluminatos de cálcio podem ser produzidos comercialmente por reação no estado sólido entre alumina e cálcio a temperaturas elevadas, dessa forma, o produto da síntese é, usualmente, formado por mais de uma fase do sistema binário $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ (FILONENKO; LAVROV, 1949 apud FERREIRA, 2015).

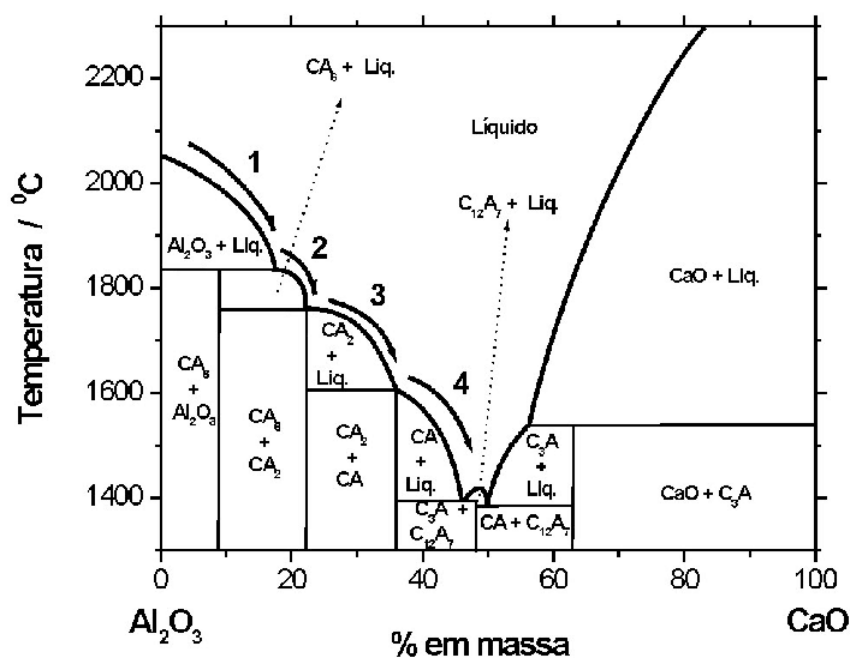
O cimento de aluminato de cálcio (CAC), também conhecido como cimento de alta alumina, se destaca por apresentar rápido desenvolvimento de resistência mecânica a verde e alta resistência a agentes corrosivos, quando em uso, sendo o mais usado na produção de concretos refratários (SORRENTINO, D.; SORRENTINO, F.; GEORGE, M., 1995 apud GARCIA, J.; OLIVEIRA, I. R.; PANDOLFELLI, V., 2007).

A produção do CAC pode ser generalizada pela seguinte reação:



Esse sistema binário (figura 1) possui diversas fases estáveis, dependendo da razão entre as quantidades de alumina e óxido de cálcio, temperatura que a mistura é submetida e o processo de resfriamento (GARCIA, J.; OLIVEIRA, I. R.; PANDOLFELLI, V., 2007).

Figura 1. Diagrama de fases do sistema



Fonte: Parker, K. M.; Sharp, J. H., 1982; Burh et al., 2004 apud Garcia, J.; Oliveira, I. R.; Pandolfelli, V., 2007.

Os cimentos refratários comerciais são primordialmente compostos por três das possíveis fases do sistema. A ordem crescente da quantidade relativa de cálcio presente nos cimentos comerciais é: C12A7 ($12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$), CA2 ($\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$) e a fase CA ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$). As fases com maior conteúdo de cálcio apresentam maior reatividade com a água (GARCIA, J.; OLIVEIRA, I. R.; PANDOLFELLI, V., 2007).

Já, a fase CA6 ($\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$), hexaluminato de cálcio, é a única desse sistema que não se hidrata (LEE et al., 2001 apud GARCIA, J.; OLIVEIRA, I. R.; PANDOLFELLI, V., 2007), depois da alumina pura, é fase de maior ponto de fusão e possui dificuldade intrínseca de densificação. A reação direta da alumina com o CaCO_3 gera a decomposição do carbonato, liberando CO_2 e deixando poros na microestrutura. Ao aliarmos o isolamento térmico promovido pelos poros presentes na microestrutura com a estabilidade química, dimensional e refratariedade da fase cristalina CA6, obtemos um material com características apropriadas para ser usado em como material refratário isolante (FERREIRA, 2015).

Como esta fase é termodinamicamente estável até seu ponto peritético, acima de 1875°C , apresenta boa resistência ao choque térmico e estabilidade química em elevadas

temperaturas (HALLSTEDL, 1990 apud FERREIRA, 2015). Dessa forma, o hexaluminato de cálcio pode ser utilizado em grande superfície a altas temperaturas, sendo assim, um bom candidato também como material para suporte em processos catalíticos (ARAI; MACHIDA, 1991 apud FERREIRA, 2015).

A fase do hexaluminato de cálcio pode ser formada por meio de eletrofusão ou sinterização de suas matérias-primas. Em ambos os casos, de início são formadas as fases termodinamicamente mais instáveis onde, no decorrer da reação ou com aumento da temperatura de reação, transformam-se em suas fases mais estáveis (FERREIRA, 2015).

1.3 ALUMINA

Em decorrência da grande competitividade nos setores cerâmicos e refratários nacionais, verifica-se uma busca pela melhoria dos revestimentos refratários existentes, e pelo desenvolvimento de materiais adequados às mais variadas aplicações. A alumina ou Al_2O_3 , também conhecida como óxido de alumínio, é o componente principal da bauxita, esta quando beneficiada pode ser usada como matéria-prima para alguns produtos de alumina tais quais refratários, abrasivos e abrangendo um grande número de produtos que apresentam propriedades e aplicações variadas.

A alumina é um material amplamente usado na indústria cerâmica principalmente por sua alta dureza, resistência ao calor e ataque químico e, sua alta constante dielétrica. Produtos de alumina são, portanto, largamente aplicados em revestimentos de fornos de altas temperaturas (cerca de 2000°C) sem perder praticamente nenhuma de suas características isolantes. Outro exemplo de suas aplicações na área são os cimentos refratários e revestimento de grandes caldeiras de usinas de aço. São utilizados nas indústrias siderúrgica, do cimento, do vidro, petroquímicas e outras, onde são necessárias excelentes propriedades térmicas, além de outras mais específicas como ferramentas de corte e fabricação de catalisadores (NEDOCHETKO et al., 2006).

1.4 PEDRA CARIRI

A Pedra Cariri é nome comercial dado a uma rocha calcária laminada, composta principalmente por carbonato de cálcio, contendo baixos teores de ferro, manganês, silício e alumínio (CORREIA; VIDAL; RIBEIRO, 2006).

O Cariri cearense é uma região de grande pólo mineral com rica reserva desse calcário laminado. A Pedra Cariri encontra-se principalmente nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri que, segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, as reservas possuem cerca de 97 milhões de metros cúbicos, equivalentes a 241 milhões de toneladas (DNPM, 2010).

Sua principal aplicação é como rocha ornamental. Devido a sua foliação natural, a lavra do material é feita de forma semi-mecanizada, onde são obtidas placas que são vendidas principalmente para seu uso como revestimento.

Infelizmente, o processo de lavra acarreta uma enorme quantidade de rejeitos, em torno de 70% (VIDAL; FERNANDES; PEQUENO, 2007). Há onze anos, em 2008, foi contabilizado que a extração e beneficiamento da Pedra Cariri geraram uma quantidade acumulada de resíduos de 2,4 milhões de toneladas (VIDAL et al., 2008a).

Por um período, parte do resíduo foi aproveitada como matéria-prima para a fabricação de cimento portland. Porém, recentemente, a fábrica de cimento encerrou suas atividades. Atualmente, os rejeitos oriundos da cadeia produtiva da Pedra Cariri têm seu emprego restrito a aterros, melhoramento de estradas vicinais nos períodos chuvosos, artesanatos, fabricação de móveis. Essas aplicações não conseguem absorver e reutilizar todo material que é considerado rejeito.

O impacto ambiental decorrente desta cadeia produtiva deve ser mitigado com a introdução de formas alternativas de aproveitamento dos resíduos gerados.

A fim de desenvolver novas técnicas e/ou produtos para a reutilização do resíduo, diversos trabalhos foram realizados. Vidal et al. (2008b) afirmam que diversos estudos foram desenvolvidos e os resultados foram muito positivos, mostrando aptidão para seu uso e aplicações industriais tais como: ração animal; borracha; pavimentação; calcário agrícola; cerâmica; argamassa e cimento comum.

Foi testado o uso deste rejeito em composições de esmalte cerâmico verificando sua cor após a queima e constatando a viabilidade de utilização (VIDAL et al., 2008b). Silva (2008) demonstrou a incorporação do resíduo industrial de calcário em argamassas de cimento e areia. Alves e Prado (2018) avaliaram o potencial uso do rejeito como biomaterial e Santos et al. (2018) investigaram a possibilidade de seu uso para a produção de revestimento cerâmico.

Trabalhos caracterizaram quimicamente e mineralogicamente o resíduo. A difração de raios X demonstrou que o rejeito é primordialmente composto por calcita (CaCO_3) (ALVES; PRADO, 2018; SOUZA et al., 2018). A análise química por fluorescência de raios X da amostra analisada por Alves e Prado (2018) identificou 92,7% de CaO; já o teor encontrado por Souza et al. (2018) de óxido de cálcio foi um pouco mais alto: 95,9%. Essa variação é normal, já que o rejeito é um material natural e diferenças composicionais são intrínseca à natureza.

Alves e Prado (2018) também encontraram traços de quartzo (SiO_2) e além do alto teor de cálcio, o resíduo era composto por óxidos de ferro, magnésio, silício e alumínio em teores que variaram entre 1,29 e 1,67%. Esses óxidos possivelmente fazem parte de minerais (por exemplo, dolomita, hematita) que estão presentes no resíduo em pequenas quantidades e que, por esse motivo, não foram identificados na análise mineralógica por difração de raios X.

O alto teor de carbonato de cálcio torna o rejeito da pedra Cariri um promissor material candidato para a fabricação de produtos compostos por aluminatos de cálcio, sejam esses cimentos refratários (fases hidratáveis) ou refratários isolantes.

Ao mesmo tempo, é preciso estudar a influência das fases e elementos químicos que estão presentes em menor teor no resíduo para a obtenção de aluminatos de cálcio e, consequentemente, nas características dos produtos almejados.

Assim, esse trabalho visa estudar misturas do rejeito calcário da Pedra Cariri com uma alumina comercial sinterizadas em diferentes condições para obter: 1) fases hidratáveis com boas características de pega cimentícia e de refratariedade; 2) fase refratária resistente à hidratação, CA6, com uma microestrutura porosa.

A inovação de tornar possível a fabricação desses produtos a partir do resíduo, além de agregar valor ao mesmo, fomenta o desenvolvimento sustentável.

2 OBJETIVO E METAS A SEREM ALCANÇADAS

OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é desenvolver refratários porosos e cimentos refratários compostos por aluminatos de cálcio a partir de alumina e rejeito da pedra Cariri.

METAS

- Caracterizar química, física e mineralogicamente os rejeitos dos calcários provenientes da lavra da Pedra Cariri, visando à aplicação do material não aproveitado na fabricação de materiais refratários;
- Caracterizar alumina (óxido de alumínio) comercial, visando à aplicação do material não aproveitado na fabricação de materiais refratários;
- Fazer formulações com diferentes teores de alumina e resíduo da pedra Cariri;
- Submeter as massas formuladas a diferentes condições de queima e resfriamento;
- Caracterizar a composição, morfologia estrutural e propriedades das fases obtidas nas diferentes condições estudadas;
- Correlacionar propriedades das fases obtidas com a variação da formulação;
- Correlacionar propriedades das fases obtidas com a variação das condições de processamento.
- Identificar qual(is) são a(s) melhor(es) porcentagem(ns) de rejeito para incorporação à alumina para obter fases de aluminatos de cálcio com propriedades cimentícias;
- Compreender a influência dos demais elementos químicos e minerais, além do CaCO_3 , presentes na pedra Cariri na obtenção e nas propriedades de cimentos de aluminato de cálcio;
- Determinar as melhores condições de processamento (condições de queima e resfriamento) para obter fases de aluminatos de cálcio com propriedades cimentícias;
- Identificar qual(is) são a(s) melhor(es) porcentagem(ns) de rejeito para incorporação à alumina para obter a fase de hexaluminato de cálcio com propriedade de isolante refratário;
- Compreender a influência dos demais elementos químicos e minerais, além do CaCO_3 , presentes na pedra Cariri na obtenção e nas propriedades de um isolante refratário de aluminato de cálcio;
- Determinar as melhores condições de processamento (condições de queima e resfriamento) para obter a fase CA6 com propriedade de isolante refratário.

3 METODOLOGIA

3.1 Pesquisa bibliográfica

Esta etapa tem como pretensão a busca de literatura especializada para fundamentar as atividades e metodologia que será utilizada no desenvolvimento da pesquisa experimental. Para este estudo será realizado o constante levantamento bibliográfico ao longo do projeto, em artigos, periódicos, livros, teses, sobre os temas: obtenção de cerâmicas refratárias, cimentos de aluminatos de cálcio (CAC), hexaluminato de cálcio, rejeito da pedra cariri, entre outros.

A biblioteca da Universidade Federal do Cariri - UFCA disponibiliza busca de materiais por meio de bases de dados científicas.

3.2 Caracterização das matérias-primas

A princípio usaremos duas fontes de matérias-primas: uma alumina alfa comercial e o rejeito da pedra Cariri.

Inicialmente, as propriedades físicas, químicas e mineralógicas das matérias primas serão avaliadas. A composição química será determinada pela técnica de fluorescência de raios X; os minerais e fases serão identificadas por meio de difração de raios X; as reações ocorridas na calcinação do rejeito serão identificadas por análise termogravimétrica; a densidade real dos sólidos será medida por meio de picnometria; também será analisada a distribuição dos tamanhos de partículas.

3.3 Preparo das misturas dos pós de resíduo da pedra cariri e alumina

Composições com diferentes proporções de Al_2O_3 e rejeito serão preparadas.

Para nortear as proporções analisadas, primeiramente se fará o cálculo, por análise racional, determinando o percentual carbonato de cálcio no rejeito da pedra Cariri, bem como de outros minerais e elementos que podem atuar no processo. Como a alumina usada será comercial, sua pureza será identificada tanto pelos dados fornecidos pelo fabricante, como pela análise química feita na etapa anterior.

Após a determinação dos reais teores de Al_2O_3 e CaCO_3 presentes nas matérias-primas, com o auxílio do já conhecido diagrama de fases do sistema desses dois

compostos (figura 1), serão determinados por cálculos estequiométricos quais serão as composições das formulações estudadas, atentando para os seguintes fatos:

As composições com as seguintes estequiometrias CA ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), CA2 ($\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$) e C12A7 ($12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$) são fases já conhecidas por suas boas propriedades como cimento refratário. Assim, com a finalidade de obter esse tipo de produto, serão feitas formulações que respeitem essas proporções molares, bem como, proporções molares que estejam entre o intervalo C12A7 e CA2.

A fase CA6 ($\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$) tem excelente característica como cerâmica porosa refratária. Portanto, para esse tipo de produto serão testadas três formulações: uma que obedeça a proporção de 1 mol de CaO para 6 moles de Al_2O_3 , outra com excesso molar de CaO (1,5:6) e , a última, com excesso de Al_2O_3 (0,5: 6).

As massas serão moídas em moinho de bolas a úmida para redução do tamanho de partícula e homogeneização das misturas. Posteriormente, serão secas e seu pó desaglomerado.

3.4 Preparo dos corpos-de-prova

A rota escolhida para a obtenção dos produtos foi a usada por Ferreira (2015): os corpos-de-prova serão confeccionados por prensagem uniaxial no formato de 2 x 8 cm mantendo constante a compacidade. Posteriormente, passarão pelo processo de queima

3.5 Queima dos corpos-de-prova

Em uma primeira etapa da pesquisa serão testadas 3 diferentes temperaturas de queima, mantendo a taxa de aquecimento, patamar na máxima temperatura de queima e taxa de resfriamento constante, para cada um dos produtos que se deseja desenvolver:

Como se observa na figura 1, as fases pretendidas para o cimento aluminoso iniciam fusão em torno de 1400°C , portanto, serão testadas 3 temperaturas de queima entre 1100 e 1350°C . Já a fase CA6 é mais refratária, assim, as temperaturas de queima testadas irão de 1300 a 1500°C

Em uma segunda etapa, serão feitas modificações nas condições de queima como taxa de aquecimento e patamar na máxima temperatura de queima.

3.6 Caracterização dos corpos-de-prova após tratamento térmico

A caracterização dos corpos-de-prova ocorrerá logo após a queima dos mesmos e seus resultados serão avaliados sistematicamente para adequar as condições de processo a fim de desenvolver os produtos almejados. Os corpos-de-prova serão avaliados por sua:

- Densidade real do pó após tratamento térmico: corpos-de-prova queimados serão pulverizadas em almofariz e suas densidades reais serão determinadas por picnometria.
- Porosidade Total Geométrica (PTG): a partir do conhecimento da densidade real do pó e a densidade geométrica (massa dividida pelo volume geométrico) da peça é possível determinar a PTG.
- Módulo de Resistência à Flexão: para determinar a resistência mecânica pelo esforço de flexão
- Difração de raios X (DRX): após a queima novas fases serão formadas, a DRX permite identificar as fases cristalinas.
- Microscopia eletrônica de varredura (MEV) + Espectrometria de Dispersão de Energia (EDS) te visualizar a microestrutura do material (fases, estrutura e morfologia dos grãos e poros. O EDS fornece informações sobre a composição química de uma amostra.

3.7 Análise e correlação dos resultados obtidos

Os resultados da caracterização dos corpos-de-prova serão analisados e serão escolhidas as temperaturas de queima e as formulações que apresentem as maiores potencialidades de se obter produtos (CAC e refratário isolante) com excelente qualidade.

Também buscar-se-á compreender a influência dos demais elementos químicos e minerais, além do CaCO_3 , presentes na pedra Cariri na obtenção e nas propriedades dos aluminatos de cálcio.

3.8 Submissão dos produtos desenvolvidos em condições típicas de uso

Os materiais desenvolvidos e que apresentaram os melhores resultados serão testados em sua real aplicação.

As formulações e condições de processamento desenvolvidas a partir do resíduo da pedra cariri e alumina que geraram a fase CA6 com propriedades promissoras serão reproduzidas e confeccionado refratário poroso. Esse refratário será submetido a condições típicas de uso.

O mesmo será replicado para as formulações com maior conteúdo de rejeito calcário que geraram fases com habilidades cimentícias. Os cimentos serão aplicados em situações habituais.

3.9 Caracterização dos produtos submetidos em condições típicas de uso

Os produtos testados nessa fase serão caracterizados por: DRX, MEV+EDS e Resistência Mecânica por Flexão

3.10 Divulgação dos resultados obtidos

Os resultados parciais e finais serão divulgados em revistas e publicações especializadas.

4 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS, TECNOLÓGICAS OU DE INOVAÇÃO DO PROJETO

Nos últimos anos a tecnologia dos materiais tem avançado rapidamente, visando garantir o fornecimento de processos dinâmicos e sustentáveis para a indústria, adequando as matérias-primas à situação regional, respeitando o âmbito sócio, ambiental e economicamente saudável.

A inovação tecnológica importante que esse projeto visa é viabilizar o uso de um resíduo que atualmente é descartado em matéria-prima para a produção de produtos refratários.

Cientificamente, a pesquisa fornecerá informações a cerca do comportamento das propriedades das massas cerâmicas utilizadas na fabricação de materiais refratários com adição de compostos carbonáticos.

Do ponto de vista da universidade e do conhecimento científico, este projeto auxiliará na formação de recursos humanos (pesquisas de iniciação tecnológica) e resultará na publicação de artigos em revistas especializadas, além de diversas publicações em eventos científicos.

Espera-se, com o desenvolvimento das atividades previstas neste plano de trabalho:

1 - Conscientização dos produtores de rochas ornamentais das vantagens da implementação de sistemas de desenvolvimento sustentável;

[illegible]

6 PLANOS DE TRABALHO DO BOLSISTA

Esse projeto de investigação e inovação tecnológica prevê a participação de dois alunos de graduação de iniciação tecnológica (PIBTI)

Aluno Bolsista 1:

Título do plano de trabalho (caracterização das atividades a serem desenvolvidas pelo estudante): *Desenvolvimento de material cerâmico poroso refratário de hexaaluminato de cálcio (CA6) a partir de resíduo da pedra Cariri*

Objetivos geral e específicos do trabalho do estudante: Identificar qual(is) são a(s) melhor(es) porcentagem(ns) de rejeito para incorporação à alumina para obter a fase de hexaluminato de cálcio com propriedade de isolante refratário;

Metodologia correspondente: (i) Caracterizar alumina (óxido de alumínio) comercial, visando à aplicação do material não aproveitado na fabricação de materiais refratários; (ii) Fazer formulações próximas à proporção molar do CA6 com diferentes teores de alumina e resíduo da pedra Cariri; (iii) Submeter as massas formuladas a diferentes condições de queima e resfriamento; (iv) Caracterizar a composição, morfologia estrutural e propriedades das fases obtidas nas diferentes condições estudadas; (v) Correlacionar propriedades das fases obtidas com a variação da formulação; (vi) Redigir relatório e trabalhos técnico-científicos.

Figura 3. Cronograma de atividades para 01 (um) ano.

Atividade	Meses											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Revisão bibliográfica	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Coleta de amostra de resíduo	x											
Caracterização das matérias-primas	x	x										
Preparação das massas (formulação e moagem) próximas a razão estequiométrica CA6		x	x	x	x							
Queima				x	x	x	x					
Caracterização dos corpos-de-prova							x	x	x	x		
Avaliação dos resultados										x	x	x
Redação de artigos											x	x

Aluno Bolsista 2:

Título do plano de trabalho (caracterização das atividades a serem desenvolvidas pelo estudante): *Desenvolvimento de cimento refratário de aluminato de cálcio (CAC) a partir de resíduo da pedra Cariri*

Objetivos geral e específicos do trabalho do estudante: Identificar qual(is) são a(s) melhor(es) porcentagem(ns) de rejeito para incorporação à alumina para obter fases de aluminatos de cálcio com propriedades cimentícias;

Metodologia correspondente: (i) Caracterizar alumina (óxido de alumínio) comercial, visando à aplicação do material não aproveitado na fabricação de materiais refratários; (ii) Fazer formulações próximas às proporções molares do C12A7, CA, CA2 com diferentes teores de alumina e resíduo da pedra Cariri; (iii) Submeter as massas formuladas a diferentes condições de queima e resfriamento; (iv) Caracterizar a composição, morfologia estrutural e propriedades das fases obtidas nas diferentes condições estudadas; (v) Correlacionar propriedades das fases obtidas com a variação da formulação; (vi) Redigir relatório e trabalhos técnico-científicos.

Figura 4. Cronograma de atividades para 01 (um) ano.

Atividade	Meses											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Revisão bibliográfica	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Coleta de amostra de resíduo	x											
Caracterização das matérias-primas	x	x										
Preparação das massas (formulação e moagem) próximas às razões estequiométricas C12A7, CA, CA2		x	x	x	x							
Queima				x	x	x	x					
Caracterização dos corpos-de-prova							x	x	x	x		
Avaliação dos resultados										x	x	x
Redação de artigos											x	x
Redação do relatório final												x

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABCERAM. **Informações técnicas - definição e classificação.** 2016. Disponível em: <<https://abceram.org.br/definicao-e-classificacao/>> Acesso em: 27 de fevereiro de 2019.

ALVES, T. M. E.; PRADO, A.C.A. Produção de hidróxido de cálcio a partir de resíduo da pedra cariri visando sua aplicação em biomateriais. In: Marcia Regina Werner Schneider Abdala. (Org.). Ciência e engenharia de materiais. 1ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2018, v. 1, p. 136-147.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10237: Materiais refratários – Classificação.** Rio de Janeiro, 2001.

CALLISTER JR, William D. **Introdução à Ciência e Engenharia de Materiais.** 8. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 2012.

CORREIA, Júlio Cesar Guedes; VIDAL, Francisco Wilson Hollanda; DA CONCEIÇÃO RIBEIRO, Roberto Carlos. **Caracterização tecnológica dos calcários do cariri do ceará.** Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, 2006. Disponível em:

<<http://www.cetem.gov.br/images/congressos/2005/CAC00030006.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Anuário Mineral Brasileiro – Brasília Ano – XXXVIII - 2010. ISSN 0100 – 9303. Disponível em:<http://www.dnpm.gov.br/portal/relatorios/amb/Completo_2010.pdf>. Acesso em 27 de fevereiro de 2019.

FERREIRA, Veridiana Lopes. **Evolução da microestrutura do hexaluminato de cálcio (CaAl₁₂O₁₉) formado in situ para obtenção de cerâmicas refratárias porosas**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

GARCIA, J.; OLIVEIRA, I. R.; PANDOLFELLI, V. Processo de hidratação e os mecanismos de atuação dos aditivos aceleradores e retardadores de pega do cimento de aluminato de cálcio. São Paulo: **Revista Cerâmica**. v. 53. n. 325. p. 42-56. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132007000100007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 29 fev. 2019

LEE, V. Types of Refractory Materials and Their Applications. 2015. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/types-refractory-materials-applications-le-sylvia>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2019. 2015.

NEDOCHETKO, A.P.F.S.; DA CRUZ, A. C.; TOFFOLI, S. M. Peças cerâmicas de alta alumina utilizando resíduo da reciclagem de alumínio em forno plasma. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECIMAT, 17. 2006, Foz do Iguaçu: **Anais...** Foz do Iguaçu, novembro de 2006.

SANTOS, A. M. M.; MATOS, M. B. M.; FEITOSA, P. H. A.; FEITOSA, J. H. A.; ALVES, T. M. E.; PRADO, A.C.A. Produção de revestimento cerâmico no cariri cearense de forma sustentável. 2018. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais - CBECiMat, 23. 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu. 2018.

SILVA, Achiles Dias Alves da. **Aproveitamento de rejeito de calcário do cariri cearense na formulação de argamassa**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

SOBROSA, Fabiano Zanini. **Desenvolvimento de materiais cerâmicos refratários com adição da sílica residual proveniente da queima da casca de arroz**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2014.

VIDAL, F. W. H. et al. O arranjo produtivo local da Pedra Cariri. In: Encontro sobre Prevenção e Gestão de Conflitos na Mineração, 2008. Santiago – Chile. **Anais...** Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, 2008a, 20p.

VIDAL, Francisco Wilson Hollanda; LIMA, Maria Angélica B; CASTRO, Nuria Fernández; FERNANDES, Tácito W. G. Aplicações industriais dos calcários do cariri cearense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 3. 2007, Natal. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008b. p. 242-254.

VIDAL, Francisco Wilson Hollanda; FERNANDES, Tácito Walber G.; PEQUENO, D.A.C. Inovação tecnológica para a valorização da Pedra Cariri - Ce In: VI SIMPOSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE. 2007, Natal – Rio Grande do Norte. **Anais...** CETEM (2007). Cap. 29, p 300-301.