

**SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E TOTAL DO AGREGADO MIÚDO NATURAL POR  
RESÍDUO DE CAULIM EM CONCRETO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS**

Hérculys Guimarães Carvalho (\*), Larissa Santana Batista, Suélen Silva Figueiredo Andrade, Thyago Lima Souza, Manoel Domiciano Dantas Filho

\* Universidade Federal de Campina Grande; herculysguimaraes@hotmail.com

**RESUMO**

A geração de resíduos sólidos acarreta uma série de impactos ambientais negativos, fazendo com que sejam pensadas novas formas de amenizar os efeitos provocados por este mal. Dentre os resíduos gerados pela ação do homem, destacam-se os resíduos da mineração. Pesquisadores de diversas áreas voltam-se para o entendimento dos procedimentos da atividade mineradora, na busca por alternativas viáveis para utilização dos resíduos. Neste cenário, o setor da construção civil, por ser um grande consumidor de insumos, surge como uma alternativa viável para a incorporação desses resíduos, pela viabilidade nos projetos de produção de materiais alternativos para a construção civil, uma vez que a demanda deste setor da economia é alta e a sustentabilidade do meio ambiente estará sendo exercida. Um material bastante utilizado na construção civil é o concreto, um material composto de aglomerante, agregados e água de amassamento. Diante desta realidade, este trabalho propõe a utilização do resíduo de caulim, devido à expressiva presença do mesmo na região do Seridó Paraibano e Norte Rio-Grandense, em substituição ao agregado miúdo natural (areia) do concreto, avaliando o comportamento mecânico de diferentes composições dos materiais envolvidos frente às exigências normativas. Sendo assim, foi realizada a caracterização física dos materiais, incluindo o caulim, e a confecção do concreto. As proporções estabelecidas para a incorporação dos resíduos foram de 0% (concreto convencional), 50% e 75%, com um período de cura de 7, 14 e 28 dias. Em seguida realizou-se ensaios de verificação da resistência dos corpos de prova através da resistência à compressão axial e a resistência a tração por compressão diametral. Foi constatado que o resíduo estudado apresenta características físicas semelhantes ao agregado natural utilizado na confecção de concreto. Os traços estudados em todas as proporções com a substituição do agregado miúdo natural por resíduo mineral de caulim apresentaram uma redução na resistência à compressão com base no traço convencional. Ainda assim, essa opção de substituição se torna adequada levando em consideração as questões socioeconômicas e ambientais e a influência na redução de exploração de recursos naturais além da redução da poluição visual das pilhas de resíduos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos, mineração, caulim, concreto.

**ABSTRACT**

The generation of solid residue causes a series of negative environmental impacts, causing new ways of mitigating the effects caused by this evil. Among the residues generated by the action of man, we high light the mining residues. Researchers from diverse área sturn to the understanding of the procedures of the mining activity, in the search for viable alternatives for the use of the residues. In this scenario, the civil construction sector, as a major consumer of inputs, emerges as a viable alternative for the incorporation of these residues, for feasibility in the projects of production of alternative materials for civil construction, since the demand of this sector of the economy is high and sustainability of the environment is being pursued. A material widely used in construction is concrete, a material composed of binder, aggregates and kneading water. In view of this reality, this work proposes the use of kaolin residue, dueto its expressive presence in the region of Seridó Paraibano and Norte Rio-Grandense, replacing the natural small aggregate (sand) of the concrete, evaluating the mechanical behavior of different compositions of the materials involved in response to regulatory requirements. Thus, the physical characterization of the materials, including kaolin, and the confection of the concrete were carried out. The proportions established for the incorporation of the residues were 0% (conventional concrete), 50% and 75%, with a cure period of 7, 14 and 28 days. Testings trength tests were then performed by axial compressions trength and diametral compression tensile strength. It was verified that the studied residue presents physical characteristics similar to the natural aggregate used in the preparation of concrete. The traces studied in all proportions with the substitution of the natural kid's aggregate for kaolin mineral residues howed a reduction in the compressive strength based on the conventional trace. Never the less, this substitution option becomes appropriate taking into account the socioeconomic and environment alissues and the influence in the reduction of exploitation of natural resources besides the reduction of the visual pollution of the piles of residues.

**KEYWORDS:** Residues, mining, kaolin, concrete.



## INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, é possível afirmar que a globalização é responsável por exercer uma forte influência na produção de resíduos sólidos, principalmente quando analisamos os fatores de obtenção de lucro das multinacionais e o consumo exacerbado da população. A geração destes resíduos é caracterizada pelos grandes volumes, e pela não disposição de soluções adequadas para o seu acondicionamento devido. Assim, acarretando em impactos negativos ao meio ambiente.

Em se tratando de resíduos sólidos, a Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010 define resíduos sólidos como materiais ou bens descartados oriundos de atividades humanas, onde a sua destinação final ocorre nos estados sólidos ou semissólidos, como também gases presentes em recipientes, e líquidos em condições de acondicionamento inviável junto a rede pública de água e esgoto.

Dentre as principais indústrias de produção de resíduos, destaca-se o setor de mineração. Segundo Batista, et al, (2018), o avanço crescente da mineração vem cobrando um alto preço ao meio ambiente, principalmente pela exploração de resíduos. Os principais danos ao meio, por intermédio da atividade mineradora, é a remoção da vegetação, a contaminação do solo, a poluição do ar, a poluição sonora, a contaminação de bacias hidrográficas, e, principalmente, a produção de resíduos.

Na mineração, alguns processos não geram resíduos. Entretanto, existem partes da atividade mineradora que são as mais responsáveis pela produção. No beneficiamento, por exemplo, onde ocorre o aperfeiçoamento da matéria bruta, adquirida nas minas, para o material desejado pelo mercado, é a metodologia onde mais se produz resíduos.

O problema não está somente na produção de resíduos, bem como na locação dos materiais gerados. Na maioria dos casos, estes materiais não apresentam uma destinação adequada, eles são acondicionados em pilhas, em lotes anteriormente definidos pelas indústrias, e vão se acumulando ao longo do tempo, sem nenhuma reutilização.

Analisando uma área que possa absorver os resíduos da mineração, entendemos que a construção civil pode se tornar uma válvula de escape para a produção de resíduos. Isto porque, conforme dos Santos e Leite (2018), analisando o contexto geral, a construção civil, usualmente, é responsável pelo consumo da maior parte de insumos, fazendo com que o estudo para determinar alternativas economicamente viáveis e tecnicamente seguras para os elementos da construção seja um fator primordial para obtenção de bons resultados.

Compreendendo que o concreto é o material mais utilizado na construção e definindo-o como um material oriundo da composição de aglomerante (cimento), água de amassamento, agregados miúdos e graúdos, e aditivos, de adição opcional. Ele se torna o principal mecanismo para a utilização de resíduos em sua composição. Isto só é possível quando as características físicas e mecânicas dos resíduos foram semelhantes as características dos agregados.

Um dos minerais que mais se assemelha as características da areia, agregado natural, é o caulim, principalmente por conta da sua granulometria. Ele é considerado um dos minerais em maior abundância na crosta terrestre. O caulim tem sua utilização ligada a construção civil na confecção de materiais cerâmicos, esmaltes para revestimentos, tintas, entre outros. A sua utilização no concreto se torna um estudo de relevância.

Pelo consumo de insumos, substituir o agregado natural (areia) pelo resíduo de caulim é uma alternativa que irá auxiliar a amenizar os danos ao meio ambiente. Principalmente na redução da quantidade de pilhas de resíduos que são acondicionados pelo excesso de material produzido. A utilização dos minerais no concreto irá reduzir a quantidade de pilhas, diminuir a poluição visual, amenizar o empobrecimento do solo, reduzirá a poluição as bacias hidrográficas, entre outros.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GERAL

Este estudo teve o intuito de estudar o comportamento mecânico do concreto para pavimentos rígidos, produzidos a partir de substituições percentuais do agregado miúdo natural, por resíduos do mineral caulim.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterização física dos materiais componentes do concreto, bem como do resíduo do caulim;
- Análise do comportamento físico e mecânico de diferentes percentuais dos materiais envolvidos;



- Definição das dosagens de concreto com base nos percentuais de substituição do agregado natural por resíduos de caulim;
- Produção do concreto convencional e com as percentagens de substituição pré-estabelecidas e análise das propriedades do produto final;
- Análise e comparação dos resultados encontrados com o concreto convencional.

## METODOLOGIA

Para a realização do trabalho, foram realizados procedimentos durante a fase experimental do estudo, onde estão definidos os aspectos relacionados aos materiais utilizados e os métodos e especificações na realização dos ensaios. Esta metodologia está apresentada na Figura 1.



**Figura 1: Fluxograma da metodologia. Fonte: Autor Principal.**

- **Coleta de materiais**

O resíduo de caulim foi coletado em pilhas de rejeitos na NORUEGA LTDA, através de doação, localizada na cidade de Junco do Seridó, no estado da Paraíba. A coleta foi feita por intermédio da NBR NM 26:2009. Os agregados graúdos e miúdos, assim como o aglomerante foram adquiridos no comércio local de Campina Grande-PB, local onde realizou-se a parte prática desta pesquisa.

- **Caracterização física**

Para a realização dos ensaios de caracterização, utilizou-se das definições estabelecidas pela norma DNIT – 054/2004 – PRO. Ocorreu a caracterização dos agregados e do caulim, com a realização dos ensaios de composição granulométrica (NBR 7218:2010), massa unitária (NBR NM 45:2006), absorção e massa específica do agregado graúdo e miúdo (NBR NM 53:2009, NBR NM 52:2009 e NBR NM 30:2001). Além da caracterização do aglomerante, por intermédio da finura do cimento (NBR 11579:2012) e tempo de pega do cimento (NBR 16607:2017).

- **Escolha do traço**

Para a definição do traço, utilizou-se do método de cálculo da ACI/ABCP – American Concrete Institute/Associação Brasileira de Cimento Portland. O cálculo do traço visou atingir uma resistência a compressão de 35Mpa aos 28 dias de cura.

- **Produção do concreto**

A produção de concreto foi baseada nos percentuais (misturas) de caulim em substituição ao agregado natural. As misturas foram de 0% de caulim (convencional), 50% caulim e 75% caulim. Foi utilizado, para a betoneira utilizada, um acréscimo de 20% de todo o material para possíveis desperdícios.

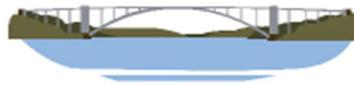
- **Confecção dos corpos de prova**

A confecção foi realizada por meio de 9 moldes cilíndricos para rompimento à compressão simples, e outros 9 moldes para compressão diametral., todos eles com dimensões de 100 X 200, em milímetros.

- **Caracterização do concreto em seu estado fresco**

Esta caracterização é feita pelo ensaio de abatimento do tronco de cone (NBR NM 67:1998).

- **Caracterização do concreto em seu estado endurecido**



Os ensaios mecânicos se resumem na resistência à compressão simples (NBR 5739:2018) e a resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222:2011). Antes dos rompimentos, analisou-se os parâmetros dimensionais dos corpos de prova.

## RESULTADOS

No ensaio de caracterização granulométrica, foram construídas as curvas para as misturas, areia e os agregados graúdos utilizados no concreto. A seguir, têm-se estas respectivas composições:

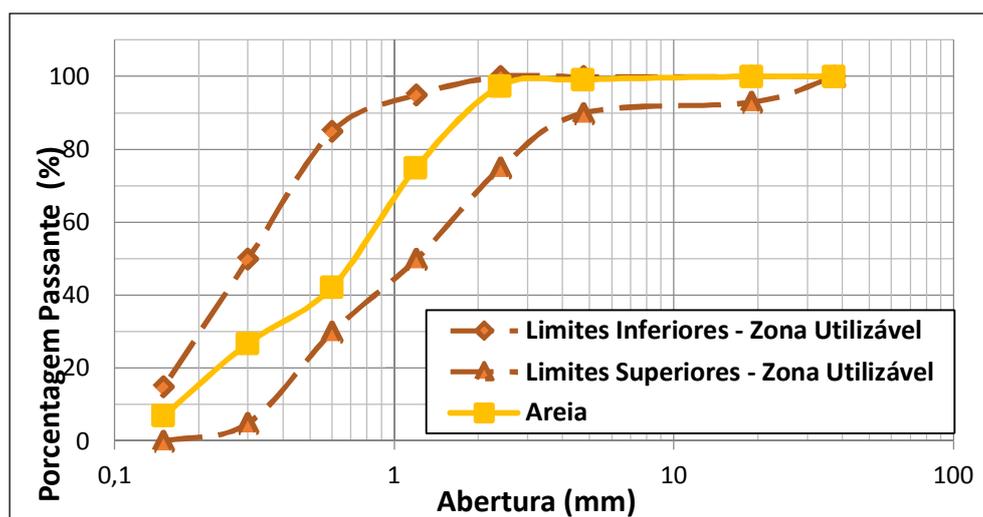


Figura 2: Curva granulométrica da areia. Fonte: Autor do trabalho.

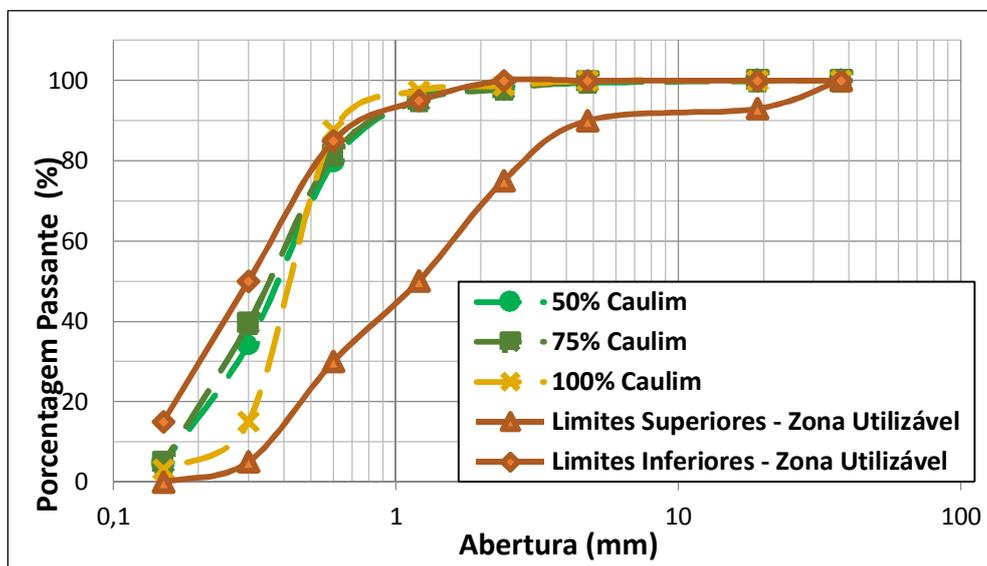


Figura 3: Curva granulométrica das misturas. Fonte: Autor do trabalho.

A areia apresentou um diâmetro máximo de 2,4 mm, e sua maior parte retida pertencente às dimensões de 0,3 e 0,6 mm. Diferentemente das composições com o resíduo, na qual foi notado um diâmetro máximo de 1,2 mm, e as maiores frações retidas em 0,15 e 0,3 mm, onde pode-se concluir que o rejeito possui uma maior quantidade de finos que o agregado miúdo natural.

Os mesmos procedimentos de obtenção da granulometria foram feitos com as Britas 0 e 1, em que pode-se admitir que as mesmas apresentaram, respectivamente, diâmetros máximos característicos de 9,5 mm e 19 mm, sendo que estes dados são essenciais para a confecção dos traços. As curvas dos agregados graúdos são evidenciados a seguir nas figuras 4 e 5:

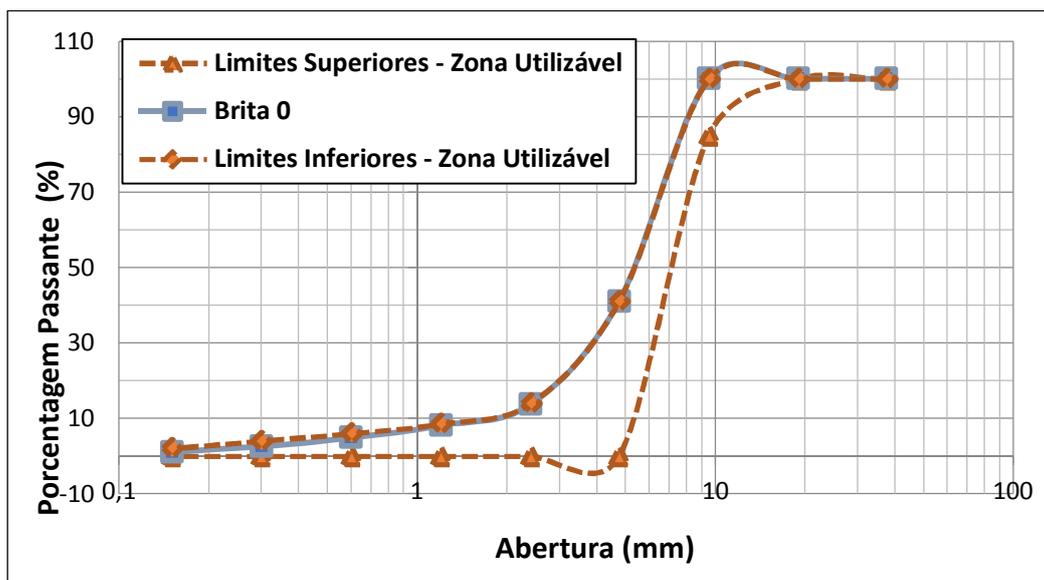
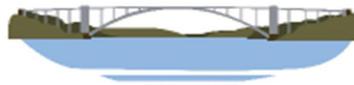


Figura 4: Curva granulométrica da brita 0. Fonte: Autor do trabalho.

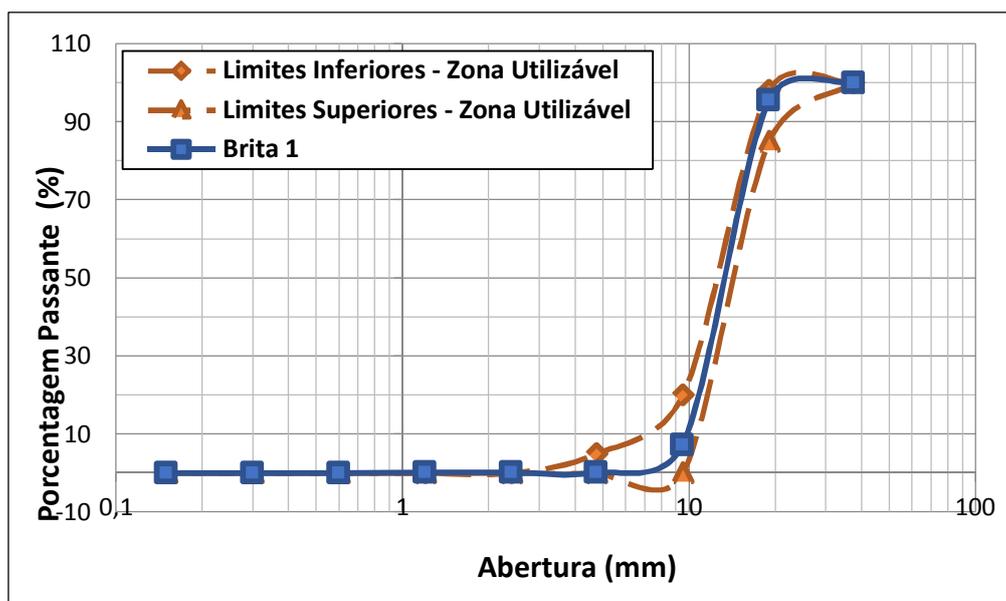
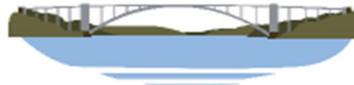


Figura 5: Curva granulométrica da brita 1. Fonte: Autor do trabalho.

Dando seguimento a caracterização física dos materiais utilizados, temos adiante a apresentação dos resultados obtidos para os ensaios de massa unitária, massa específica e absorção para os agregados, como também, serão expostos os valores encontrados para os ensaios de caracterização do cimento portland do tipo CP II F 32:

ENSAIOS	RESULTADOS FINAIS
M. ESPECÍFICA-CAULIM	2,60 g/cm <sup>3</sup>
M. ESPECÍFICA-50%	2,55 g/cm <sup>3</sup>
M. ESPECÍFICA-75%	2,44 g/cm <sup>3</sup>
M. ESPECÍFICA – AREIA	2,55 g/cm <sup>3</sup>
M. ESPECÍFICA – B0	2,64 g/cm <sup>3</sup>
M. ESPECÍFICA – B1	2,64 g/cm <sup>3</sup>



M. UNITÁRIA-CAULIM	0,95 g/cm <sup>3</sup>
M. UNITÁRIA – AREIA	1,28 g/cm <sup>3</sup>
M. UNITÁRIA – B0	1,41 g/cm <sup>3</sup>
M. UNITÁRIA – B1	1,37 g/cm <sup>3</sup>
ABSORÇÃO – B0	0,8 %
ABSORÇÃO – B1	0,3%
FINURA - CIMENTO	6,8%
INÍCIO DE PEGA	1h 31 min
FIM DE PEGA	4h 18min

**Tabela 01: Ensaio de caracterização física dos materiais. Fonte: Autor do trabalho.**

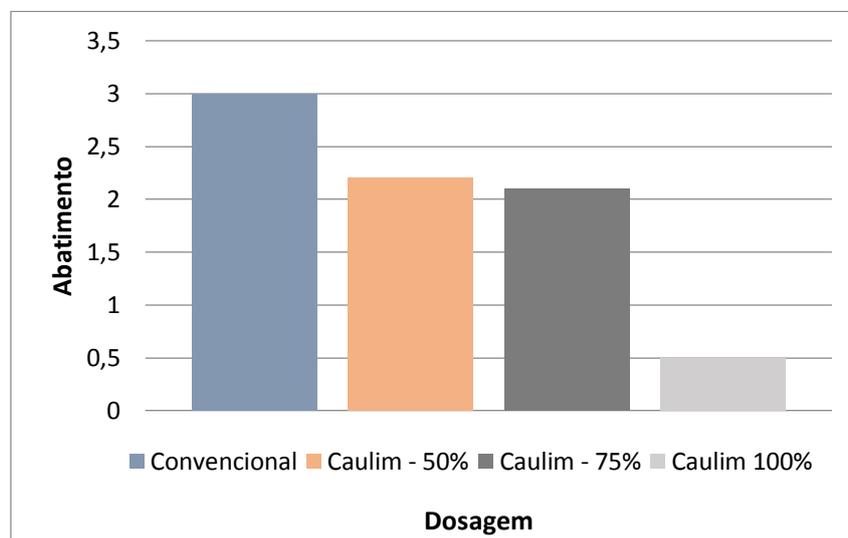
Estes resultados corroboraram no auxílio da definição dos traços de interesse para a pesquisa. Vale ressaltar que os traços foram definidos de acordo com o método proposto pela Associação Brasileira de Cimento Portland, na qual a partir destes resultados foram desenvolvidos os cálculos de consumo para cada material, e dessa forma obteve-se os quatro traços objetos da pesquisa. A seguir, a tabela 2 demonstra estes resultados:

SUBSTITUIÇÃO	TRAÇO	CONSUMO				
		CIMENTO	AREIA	B1	B0	CAULIM
Convencional	1:1,62:2,33:0,42	440	712	719	308	0
50% - Caulim	1:1,53:2,43:0,42	440	337	748	320	337
75% - Caulim	1:1,44:2,46:0,42	440	159	757	324	475
100% - Caulim	1:1,59:2,40:0,42	440	0	738	316	700

**Tabela 02: Traços e consumos dos materiais. Fonte: Autor do trabalho.**

Dada a resistência para qual o concreto foi calculado e a resistência do cimento utilizado, relacionados sempre com os mesmos valores mostrados na seção anterior, tem-se os parâmetros como relação água/cimento igual a 0,42 e o consumo de cimento tendo um valor de 440 Kg/m<sup>3</sup> para todos os traços. Todos eles se encontraram dentro dos limites estabelecidos pela norma DNIT 054/2004, cuja mesma estabelece que a relação água/cimento esteja entre 0,4 e 0,56 e o consumo mínimo de cimento seja de 320 Kg/m<sup>3</sup>.

Em se tratando da caracterização do concreto, a princípio foi realizado o ensaio do abatimento de tronco de cone no concreto ainda no estado fresco para verificação de sua trabalhabilidade e consistência. Os traços foram calculados a partir de um abatimento de 60 milímetros no ensaio do tronco de cone, entretanto decidiu-se manter a relação água/cimento constante, desde que os valores para tais abatimentos estivessem entre 20 e 80 milímetros (Senço, 2001). Os resultados do ensaio para todos os traços se encontram na figura 6, a seguir:



**Figura 6: Resultados do ensaio de abatimento do tronco de cone. Fonte: Autor do trabalho.**

Os abatimentos foram definidos por meio de uma média aritmética entre as três betonadas realizadas para cada traço. É importante observar que a norma DNIT 054:2004, estabelece que o ensaio deva apresentar resultados superiores ou iguais a 20 milímetros, o que não foi possível para o traço de 100% de rejeito de caulim. Sendo necessárias adição de muita água e consequentemente mais cimento para não mudar a relação entre os dois componentes, entretanto inviabilizando sua produção tendo em vista que se tornaria um processo bem oneroso. Foram adicionados, além do que estava previsto no traço, mais 3 litros de água e 1,26 quilogramas de cimento, onde mesmo assim, o concreto ficou muito seco.

No tocante a verificação da resistência do concreto endurecido, temos logo abaixo os resultados encontrados. A princípio, são apresentados os resultados para a resistência a compressão, e logo em seguida são apresentados os dados para a tensão suportada, à tração por compressão diametral.

Dosagem	Resistência (MPa)		
	7 dias	14 dias	28 dias
<b>Convencional</b>	21,54	30,91	35,07
<b>50%</b>	10,34	14,13	18,76
<b>75%</b>	6,87	7,45	9,15

**Tabela 03: Resultados obtidos para a resistência a compressão. Fonte: Autor do trabalho.**

Como objetivo da pesquisa, o concreto ao final dos 28 dias deveriam possuir uma resistência à compressão de 35 MPa em que apenas o traço convencional conseguiu atingir essa condição. O traço de 50% ficou com 46% abaixo da resistência, como o de 75% que ficou à 74%. Mais uma vez o traço de 75% mostrou-se como o pior em ganho de resistência. Sendo assim, pode-se observar que a adição do rejeito prejudica consideravelmente a resistência do concreto produzido, tendo em vista que suas resistências reduzidas a valores considerados muito baixos.

Dosagem	Resistência (MPa)		
	7 dias	14 dias	28 dias
<b>Convencional</b>	2,44	2,88	2,97
<b>50%</b>	1,56	1,98	2,37
<b>75%</b>	1,22	1,40	1,48

**Tabela 04: Resultados obtidos para a resistência à tração por compressão diametral. Fonte: Autor do trabalho.**

Nota-se novamente que o traço convencional é o que obteve maior resistência, entretanto observa-se que o traço de 50% obteve o maior ganho de resistência, pois em 28 dias aumentou sua resistência em 52%, enquanto que o convencional e o 75% aumentaram 22% e 21%, respectivamente. A adição do rejeito proporcionou mais uma vez, uma grande diminuição na resistência, dessa vez no que diz respeito à tração por compressão diametral.

A seguir, são mostradas imagens destes ensaios realizados em laboratório:

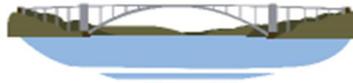


Figura 7: Ensaio de resistência à compressão. Fonte: Autor do trabalho.



Figura 8: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral. Fonte: Autor do trabalho.

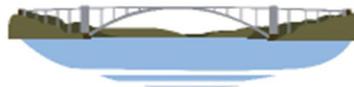
## CONCLUSÕES

A inserção do caulim na confecção do concreto influenciou diretamente na obtenção dos resultados coletados, características do concreto como resistência e consistência foram alteradas significativamente. Dado o exposto, as substituições executadas nos traços estudados forneceu uma opção pouco viável para aplicação em pavimentos rígidos, levando em consideração a grande perda de resistência à medida que se adicionou o rejeito, ao ponto da substituição total do agregado miúdo natural ser totalmente inviável, não sendo possível nem a sua moldagem.

Essa opção de substituição se torna adequada levando em consideração as questões socioeconômicas e ambientais e a influência na redução de exploração de recursos naturais além da redução da poluição visual das pilhas de resíduos que é depositada pelas mineradoras, algumas delas de forma clandestina. Sendo assim, apesar dos resultados apresentados indicarem pouca viabilidade no tocante ao comportamento mecânico do concreto, a pesquisa direciona um ponto de partida para uma mudança de ações e pensamentos em prol do crescimento sustentável, pois existem plenas condições de serem desenvolvidos trabalhos com alterações pontuais para a descoberta de dados inéditos e importantes para a área da pavimentação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em 23 de abr de 2019.



2. BATISTA, Larissa Santana et al. GERAÇÃO DE RESÍDUOS ATRIBUÍDA A ATIVIDADE MINERADORA NO SERIDÓ (RN/PB) BRASILEIRO. Disponível em:< <https://www.ibeas.org.br/congresso/Conresol2018/V-027.pdf>>. Acesso em: 22 de abril de 2019.
3. DOS SANTOS, Mario Esmeraldo; LEITE, Eduardo César Cordeiro. Análise dos efeitos dinâmicos introduzidos por atividades humanas em lajes nervuradas unidirecionais de concreto. **Revista Tecnologia**, v. 39, n. 1, 2018.
4. JOHN, V. M. **A construção, o meio ambiente e a reciclagem**. Disponível em:< [http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a\\_construcao\\_e.htm](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a_construcao_e.htm)> Acesso em: 19 mar. 2019.
5. LUCAS, B.; BENATTI, C.T. **Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil**. Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v.1, n.3, p. 405-418, set./dez. 2008 – ISSN 1981 – 9951.
6. MENEZES, R. R. et alii. **Utilização do resíduo do beneficiamento do caulim para produção de corpos múltiplos**. Cerâmica, v. 53, p. 388-395, 2007c.
7. REZENDE, M. L. S. **Estudo de viabilidade técnica da utilização do resíduo de caulim em blocos de vedação**. Campina Grande: Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, 2007. 54 f.(Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola).
8. REZENDE, M. L. S. ET AL. **Utilização do resíduo de caulim em blocos de vedação**. Revista Esc. Minas, Ouro Preto, 285-290, jul./set. 2008.
9. SILVA, A. C., VIDAL, M., PEREIRA, M.G. **Impactos ambientais causados pela mineração e beneficiamento de caulim**. REM - Revista Escola de Minas, v. 54, n. 2, p. 133-136, 2001.
10. URBAN WORLD FORUM. **Reports On Dialogues – Sustainable Urbanization**. Disponível em: <<http://www.unchs.org/uf/aai.html>>. Acesso em: 19.03.2019.