



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG  
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR – CCTA  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL – UACTA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARCELO LAÉDSON MORATO FERREIRA

**SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E TOTAL DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUO DE  
SCHEELITA NA PRODUÇÃO DE PAVERS**

POMBAL-PARAÍBA

2020

MARCELO LAÉDSON MORATO FERREIRA

**SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E TOTAL DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUO DE  
SCHEELITA NA PRODUÇÃO DE PAVERS**

Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado a Universidade Federal de  
Campina Grande – UFCG Campus Pombal,  
como parte das exigências para a obtenção  
do título de bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Dr. Renilton Correia da Costa

F383s Ferreira, Marcelo Laédson Morato.  
Substituição parcial e total do agregado miúdo por resíduo de scheelita na produção de pavers / Marcelo Laédson Morato Ferreira. – Pombal, 2020.  
59 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2020.  
“Orientação: Prof. Dr. Renilton Correia da Costa”.

Referências.

1. Pavimento intertravado. 2. Resíduo de scheelita. 3. Construção civil. 4. Meio ambiente. 5. Sustentabilidade. I. Costa, Renilton Correia da. II. Título.

CDU 625.8(043)

MARCELO LAÉDSON MORATO FERREIRA

**SUBSTITUIÇÃO PARCIAL E TOTAL DO AGREGADO MIÚDO POR RESÍDUO DE  
SCHEELITA NA PRODUÇÃO DE PAVERS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Universidade Federal de Campina Grande – UFCG Campus Pombal, como parte das exigências para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 23 / 11 / 2020

BANCA EXAMINADORA

*Renilton Correia da Costa*

---

Prof. Dr. Renilton Correia da Costa  
Orientador  
UACTA/UFCG

*Eduardo Morais de Medeiros*

---

Prof. M.e Eduardo Morais de Medeiros  
Examinador Interno  
UACTA/UFCG

*Hélykan Berliet dos S. Monteiro*

---

Prof<sup>a</sup>. Ma. Hélykan Berliet dos Santos Monteiro  
Examinadora externa  
FSM/CAJAZEIRAS

## DEDICATÓRIA

A Deus, por sempre me abençoar e estar presente comigo, e a minha família, por sempre acreditar em mim e estar ao meu lado em todos os momentos.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me dar forças todos os dias para poder ir em busca dos meus sonhos. Por ter me concedido saúde, sabedoria e todos os subsídios necessários para nunca desistir, apesar de todas as adversidades e conseguir chegar até aqui.

A toda minha família, os meus pais, Maria Morato Ferreira e João Laércio Ferreira e meus irmãos, Magda Lays Morato Ferreira e Mayck Laerth Morato Ferreira. Por todo amor, dedicação, carinho, por serem a minha base nos momentos de refúgio, por terem me dado todo o suporte para chegar até aqui e por sempre acreditarem em mim. Nada disso faria sentido sem vocês ao meu lado.

Ao meu orientador, professor Dr. Renilton Correia da Costa, por abraçar esse desafio comigo, por todos os ensinamentos passados, pela paciência, por não ter medido esforços para sempre estar me ajudando em tudo que era preciso. Quero deixar aqui meu eterno sentimento de gratidão.

Aos meus amigos Marcelo Nunes e Gustavo Bezerra, que me ajudaram a conseguir a desenvolver essa pesquisa. A todos amigos da minha turma 2015.2, em especial a Danylo, Edmilson, Jefferson e Marcos, no qual estivermos trabalhando juntos no início desta pesquisa. A todos amigos que Pombal-PB me proporcionou e todos os demais amigos que estão sempre presentes em minha vida, por estarem presentes comigo nesse ciclo árduo, porém satisfatório.

A toda a equipe da empresa "A", pela paciência, por terem me acolhido de braços abertos e por todo o suporte na confecção dos pavers.

Aos técnicos de laboratório, Seu Edvaldo e Eudes, pela paciência e pelos ensinamentos técnicos que foram primordiais na minha pesquisa.

A UFCG e toda a sua equipe de docentes que foram essenciais na minha formação profissional.

## RESUMO

A construção civil proporciona inúmeros impactos ambientais, principalmente devido à extração desenfreada de recursos naturais. Assim, encontrar materiais que a princípio não têm uma destinação final adequada, como os resíduos da mineração, para substituir total ou parcialmente os insumos convencionais utilizados na produção do concreto, seria uma solução viável do ponto de vista ambiental, uma vez que resolveria diretamente problemas como a redução da remoção de matéria-prima no meio ambiente e a destinação final adequada dos resíduos gerados pela atividade de mineração. Dentre os minerais extraídos no Brasil, a scheelita se destaca por movimentar grande parte da economia, principalmente no estado do Rio Grande do Norte, e por gerar grande volume mensal de resíduos, resultantes de seu processo de beneficiamento. Deste modo, este trabalho tem o intuito de avaliar a substituição parcial e total do agregado miúdo convencional utilizado para a produção de peças de concreto, a areia, pelo resíduo de scheelita, nas proporções de 10%, 25%, 50% e 100%, analisando sua viabilidade técnica por meio de ensaios descritos na norma de peças de concreto para pavimentação, a ABNT NBR 9781/2013. Para a submissão dos ensaios, todas as peças de concreto passaram por um processo de cura por 28 dias. Pelos resultados encontrados, observou-se que no ensaio de avaliação dimensional, todos os pavers estavam dentro das exigências estabelecidas por norma. Já em relação ao ensaio de absorção de água apenas as composições de 25% e 50% de scheelita não ficaram em conformidade com os limites estipulados por norma. Para o ensaio de resistência característica à compressão, nenhuma composição conseguiu atingir a resistência mínima de 35 Mpa exigido por norma para tráfego leve. Todavia, todas as composições apresentaram resultados semelhantes, com destaque para a composição de 10% de scheelita que apresentou os melhores resultados em todos os ensaios. Portanto, verifica-se que a utilização de scheelita na produção de pavers é uma solução promissora, tendo em vista que sua utilização proporciona economia, reduz a extração de areia no meio ambiente e proporciona a destinação final adequada desse resíduo, promovendo sustentabilidade e uma boa relação entre construção civil e meio ambiente.

**Palavras-chave:** Resíduo de Scheelita, Pavimento Intertravado, Construção Civil, Meio Ambiente, Sustentabilidade.

## ABSTRACT

Civil construction offers numerous environmental impacts, mainly due to the unbridled extraction of natural resources. Thus, finding materials that at first do not have an adequate final destination, such as mining waste, to replace all or part of the inputs used in the production of concrete, would be a viable solution from the environmental point of view, since it would directly solve problems such as reducing the removal of raw materials in the environment and the final destination of waste residues generated by mining activities. Among the minerals extracted in Brazil, scheelita stands out for moving a large part of the economy, mainly in the state of Rio Grande do Norte, and for generating a large monthly volume of waste, added to its beneficiation process. Thus, this work aims to evaluate the partial and total replacement of the conventional fine aggregate used for the production of concrete pieces, sand, by scheelite residue, in the proportions of 10%, 25%, 50% and 100%, analyzing its technical feasibility through tests used in the standard of concrete parts for paving, ABNT NBR 9781/2013. For the submission of tests, all concrete pieces underwent a curing process for 28 days. From the results found, it was observed that in the dimensional evaluation test, all pavers were within the requirements by rule. Regarding the water absorption test, only as compositions of 25% and 50% of scheelite not known in accordance with the limits stipulated by norm. For the characteristic compressive strength test, no composition was able to achieve the minimum strength of 35 Mpa required by the standard for traffic level. However, all similar compositions have similar results, with emphasis on a composition of 10% scheelite that presented the best results in all tests. Therefore, it appears that the use of scheelite in the production of pavers is a promising solution, considering that its use provides savings, reduces the extraction of sand in the environment and offers a final destination of this waste, promoting sustainability and a good relationship between civil construction and the environment.

**Key words:** Scheelite Residue, Interlocking Pavement, Civil Construction, Environment, Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Tonalidades de peças de concreto.....	17
<b>Figura 2:</b> Modelos de peças de concreto do tipo I.....	18
<b>Figura 3:</b> Modelos de peças de concreto do tipo II.....	18
<b>Figura 4:</b> Modelos de peças de concreto do tipo III.....	18
<b>Figura 5:</b> Modelos de peças de concreto do tipo IV.....	19
<b>Figura 6:</b> Assentamento de bloco tipo espinha de peixe ou inclinado.....	19
<b>Figura 7:</b> Assentamento de bloco tipo fileira. ....	19
<b>Figura 8:</b> Assentamento de bloco tipo reto. ....	20
<b>Figura 9:</b> Assentamento de bloco tipo trama.....	20
<b>Figura 10:</b> Esquematização da estrutura típica do pavimento intertravado.....	21
<b>Figura 11:</b> Fluxograma dos passos efetuados na pesquisa.....	30
<b>Figura 12 e 13:</b> Preenchimento e rasamento.....	32
<b>Figura 14 e 15:</b> Padiola preenchida com o agregado miúdo e graúdo.....	33
<b>Figura 16 e 17:</b> Adição da amostra do agregado miúdo e o frasco Chapman com a água e o agregado após agitação.....	34
<b>Figura 18 e 19:</b> Sequenciamento de peneira e agitação manual.....	35
<b>Figura 20:</b> Curva de Abrams.....	36
<b>Figura 21 e 22:</b> Mistura dos agregados na betoneira e concreto finalizado.....	40
<b>Figura 23 e 24:</b> Adição de lubrificante na fôrma do paver.....	40
<b>Figura 25 e 26:</b> Preenchimento das fôrmas de intertravado com concreto na mesa vibratória.....	41
<b>Figura 27 e 28:</b> Rasamento e preenchimento das peças de concreto.....	41

<b>Figura 29 e 30:</b> Paviers desmoldados, identificados e em processo de cura.....	42
<b>Figura 31:</b> Pontos para medidas da peça de concreto do tipo I.....	42
<b>Figura 32 e 33:</b> Avaliação dimensional dos paviers.....	43
<b>Figura 34 e 35:</b> Peças de concreto secas em estufa.....	43
<b>Figura 36 e 37:</b> Alocação da peça de concreto na prensa para ruptura.....	45
<b>Figura 38:</b> Curva Granulométrica da areia e das 4 composições de scheelita.....	48
<b>Figura 39:</b> Resultados das resistências características à compressão estimada média.....	52

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Tolerância dimensional das peças de concreto .....	28
<b>Tabela 2:</b> Resistência característica à compressão.....	29
<b>Tabela 3:</b> Determinação do consumo de água aproximado em L/m <sup>3</sup> .....	37
<b>Tabela 4:</b> Volume do agregado graúdo (m <sup>3</sup> ) .....	38
<b>Tabela 5:</b> Consumo de materiais para a produção de 1m <sup>3</sup> de concreto .....	38
<b>Tabela 6:</b> Traço padrão adotado .....	39
<b>Tabela 7:</b> Quantidade de material usada em Kg nas quatro substituições de scheelita, adotando uma perda de 15% de material .....	39
<b>Tabela 8:</b> Fator multiplicativo p de acordo com a altura das peças de concreto.....	44
<b>Tabela 9:</b> Coeficiente de Student (Nível de confiança de 80%) .....	45
<b>Tabela 10:</b> Composição granulométrica - NBR 7217 – areia .....	46
<b>Tabela 11:</b> Composição granulométrica - NBR 7217 – 10% Scheelita .....	47
<b>Tabela 12:</b> Composição granulométrica - NBR 7217 – 25% Scheelita .....	47
<b>Tabela 13:</b> Composição granulométrica - NBR 7217 – 50% Scheelita .....	47
<b>Tabela 14:</b> Composição granulométrica - NBR 7217 – 100% Scheelita .....	48
<b>Tabela 15:</b> Medidas reais médias dos pavers produzidos em suas diferentes composições .....	49
<b>Tabela 16:</b> Resultados das massas úmidas, secas e absorções de todas composições .....	50
<b>Tabela 17:</b> Resultados das cargas de ruptura, resistências à compressão desvio padrão de todas .....	51

## LISTA DE ABREVIATURAS

a.C. – Antes de Cristo

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CP – Cimento Portland

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

CaWO<sub>4</sub> – Tungstênio de Cálcio.

CaO – Óxido de Cálcio.

WO<sub>3</sub> – Trióxido de Tungstênio.

MF – Módulo de Finura

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>15</b>
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos	15
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>17</b>
4.1	Pavimento intertravado	17
4.2	Peças de concreto para pavimentação	23
4.3	Scheelita	24
4.4	Extração de areia e impactos ambientais	25
4.5	Uso de resíduos em peças de concreto para pavimento intertravado	26
4.6	Avaliação dimensional	27
4.7	Absorção de água	28
4.8	Resistência característica à compressão	28
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>30</b>
5.1	Materiais	31
5.2	Métodos	31
5.2.1	Caracterização física	32
5.2.1.1	Massa específica do cimento	32
5.2.1.2	Massa unitária	32
5.2.1.3	Massa específica	33
5.2.1.4	Composição granulométrica	34
5.2.2	Determinação do traço	35
5.2.2.1	Determinação do fator água/cimento	35
5.2.2.2	Determinação do consumo de água estimada	36
5.2.2.3	Determinação do consumo de cimento	37

<b>5.2.2.4 Determinação do consumo do agregado graúdo .....</b>	<b>37</b>
<b>5.2.2.5 Determinação do consumo do agregado miúdo .....</b>	<b>38</b>
<b>5.2.3 Produção dos pavers .....</b>	<b>39</b>
<b>5.2.4 Avaliação dimensional .....</b>	<b>42</b>
<b>5.2.5 Absorção de água .....</b>	<b>43</b>
<b>5.2.6 Determinação da resistência característica à compressão .....</b>	<b>44</b>
<b>5.2.6.1 Determinação da resistência à compressão estimada .....</b>	<b>44</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>46</b>
<b>6.1 Determinação da composição granulométrica .....</b>	<b>46</b>
<b>6.2 Avaliação dimensional .....</b>	<b>49</b>
<b>6.3 Absorção de água .....</b>	<b>49</b>
<b>6.4 Resistência característica à compressão .....</b>	<b>51</b>
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios dos últimos anos tem sido encontrar uma maneira de minimizar a grande quantidade de resíduos produzidos pelo ramo da construção civil e posteriormente, encontrar uma destinação final adequada. Entre os resíduos mais comuns, observa-se que os produzidos pelo setor da mineração, como a scheelita, o caulim, o pó de pedra, entre outros, têm apresentado geração e acúmulo crescente, sendo indiscriminadamente descartados no meio ambiente (DIAS, 2010).

Segundo La Serna & Rezende (2013), no Brasil, a abundância de jazidas minerais em toda as regiões possibilita a produção de grandes volumes de agregados para a construção civil, sendo este o setor da indústria mineral o maior consumidor de insumos, com destaque para areia com a produção de 275 milhões de toneladas em 2007.

A scheelita (nome pelo qual se dá em homenagem ao descobridor do tungstênio, Honors Karl Wilhelm Scheele), se apresenta como um mineral de elevada densidade relativa e forma cristalina, na qual está inserida à classe dos Tungstatos e é especificamente um cálcio com composição  $CaWO_4$  (DANA, 1974).

De acordo com o DNPM (2014), o tungstênio é um metal que possui características únicas, como elevada dureza, densidade e ponto de fusão, que são indispensáveis na composição de certas ligas de aços especiais, sendo a China o país onde a maior parte desse recurso mineral ocorre no mundo, com mais de 50% das reservas mundiais de minério de tungstênio.

Conforme o DNPM (2014), em 2013, as reservas lavráveis de scheelita localizadas no Estado do Rio Grande do Norte totalizaram 25,4 mil toneladas de tungstênio contido, com teores de  $WO_3$  variáveis entre 0,04% e 2,4%. Além do Rio Grande do Norte, o minério também pode ser encontrado no Pará, Paraíba, Rondônia, Santa Catarina e São Paulo. Todavia, a nível mundial, as reservas de minério de tungstênio do Brasil representam menos de 1%.

No Brasil, a exploração de scheelita inicia-se na década de 1940, sendo o estado do Rio Grande do Norte responsável por aproximadamente 90% da produção nacional, com destaque para o município de currais novos, o qual era detentor das maiores minas daquela época (ASSIS, 2006).

Segundo Machado (2012) a produção mensal das mineradoras do município de Currais Novos-RN corresponde a 20 toneladas mensais, sendo que para cada

tonelada apenas 250 Kg são de concentração de scheelita e 750 Kg são de rejeitos, ou seja, mensalmente são produzidas 15 toneladas de rejeito.

Segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004), entende-se por lixo ou resíduos sólidos, como resíduos nos estados sólidos e semi sólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

Neste contexto, a scheelita é classificado segundo a NBR 11174 (ABNT, 1990) como um resíduo de Classe III – inerte, por conseguinte, deve obedecer às recomendações estabelecidas nesta norma para o seu processo de armazenamento e inspeção.

Assim, segundo Silva (2005), a inserção de resíduos na produção de materiais, como por exemplo, na produção de pavers, pode proporcionar economia de energia e contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Relatos históricos demonstram que os povos ao decorrer dos anos, sentiram a necessidade de criar e construir novos caminhos, trilhas e atalhos no intuito de vencer longas distâncias existentes entre os povoados e colônias obedecendo assim algum tipo de comunicação entre eles (FIORITI, 2007).

Neste cenário, temos que a utilização do pavimento intertravado no ramo da construção civil não é um assunto recente, possuindo suas origens nos pavimentos revestidos com pedras e eram executados na Mesopotâmia há quase 5.000 anos a.C., como também, pelos romanos desde 2.000 a.C. (ABCP, 2010).

Segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013), entende-se por pavimento intertravado o pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justapostas sem uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento, de modo que a sua contenção é proporcionada pelo o seu próprio sistema de intertravamento.

A chegada desses blocos no Brasil, de acordo com a ABCP (2010), tem início em meados da década de 70. No entanto, foi logo após a segunda guerra mundial que os mesmos adquiriram grande propulsão e passaram a ser produzidas em grandes escalas, principalmente pela Alemanha.

Portanto, este trabalho tem por intuito o estudo da substituição do agregado miúdo convencional utilizado para a produção de pavers, na empresa “A”, pelo resíduo de scheelita, analisando a sua viabilidade técnica através do seu comportamento mecânico.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a viabilidade técnica da substituição parcial e total do agregado miúdo natural utilizado para a produção de pavers, pelo resíduo de scheelita, comparando os seus desempenhos com as exigências estabelecidas por norma.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- A) Caracterizar o resíduo para definir uma dosagem que alcance a resistência mínima estabelecida por norma;
- B) Avaliar diferentes proporções de substituição dos agregados naturais pelos resíduos de scheelita (10%, 25%, 50% e 100%) na confecção dos pavers;
- C) Avaliar o comportamento mecânico das peças de concreto através do ensaio de resistência a compressão simples.
- D) Definir quais as aplicações para os pavers produzidos com este resíduo, tendo por embasamento o seu desempenho técnico

### 3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

A utilização de rejeitos mineralógicos justifica-se principalmente pelo o desenvolvimento sustentável frente as tecnologias tradicionais, propondo uma funcionalidade para esses materiais descartados.

Assim, o estudo da substituição parcial e total do agregado natural miúdo na confecção de pavers, por resíduos de scheelita demonstra-se importante, visto que irá proporcionar a diminuição da exploração de novos recursos naturais (areia), que já estão ficando escassos em determinadas localidades, como também, irá promover uma destinação final adequada para estes resíduos. Deste modo, evitará também a poluição visual devido ao grande acúmulo de resíduos depositados, além de preservar o uso do aterro sanitário, uma das maneiras corretas de descarte do material.

Como também, a adesão ao uso do pavimento intertravado proporciona:

- Necessidade apenas de reposição periódica do material de rejuntamento;
- Permite a reutilização das peças, o que torna o pavimento mais econômico;
- Permite a reutilização do material de base/sub base e assentamento;
- Reparos sem marcas visíveis;
- Permitem fácil reparação quando ocorrem afundamentos que comprometam sua capacidade estrutural.

Portanto, levando em consideração todos estes aspectos, este trabalho se demonstra promissor, uma vez que os resíduos de scheelita deixariam de ser um problema ambiental e se tornariam mais uma opção de material a ser empregado na construção civil.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Pavimento intertravado

Entende-se por pavimento intertravado como a capacidade que os blocos adquirem de resistir a movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal ou de rotação em relação a seus vizinhos (ABCP, 2010).

Assim, Conforme Hallack (2001) apud Fiorit (2007), uma grande vantagem em se escolher o pavimento intertravado é a facilidade e rapidez de sua colocação e manutenção e sempre que precisarem de reparos no subsolo podem ser retirados e substituídos.

Atualmente no Brasil esse tipo de piso pode ser encontrado em diversos ambientes, sendo comum encontra-lo no cotidiano. Devido à abrangência de variadas cores e formatos, tornam os pavers bastantes versáteis e promissores. Alguns lugares como garagens, ruas, praças, estradas, ciclovias, parques, calçadas, entre outros, são alguns exemplos de disposição dos pavers.

Em relação às cores, na Figura a seguir, estão dispostas algumas tonalidades de peças de concreto:

**Figura 1:** Tonalidades de peças de concreto.



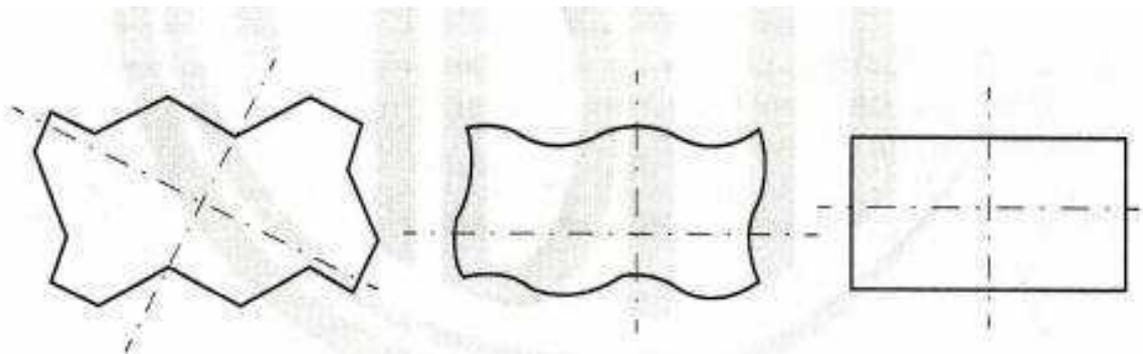
**Fonte:** ABCP (2010).

Quanto aos formatos, estão disponíveis na NBR 9781 (ABNT, 2013), norma na qual dispõe sobre peças de concreto para pavimentação, suas especificações e métodos de ensaios. Nesta contém também os materiais que devem compor o concreto para a produção dos pavers, que são de cimento Portland, agregados e água, sendo permitido o uso de aditivos e pigmentos.

Ainda segundo a mesma norma, as peças de concreto podem ser enquadradas em 4 (quatro) tipos:

Tipo I – São peças de concreto com formato próximo ao retangular, com relação comprimento/largura igual a dois, que se arranjam entre si nos quatro lados e podem ser assentadas em fileiras ou em espinha de peixe. A Figura abaixo pode ser averiguado exemplos de peças de concreto do tipo I.

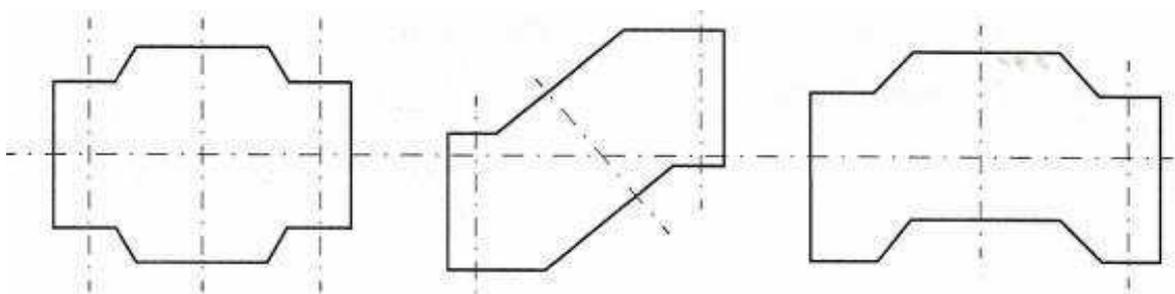
**Figura 2:** Modelos de peças de concreto do tipo I.



**Fonte:** ABNT NBR 9781/2013.

Tipo II – São peças de concreto com formato único, se diferenciando do tipo retangular, pois só podem ser assentadas em fileiras, como demonstrado na Figura a seguir.

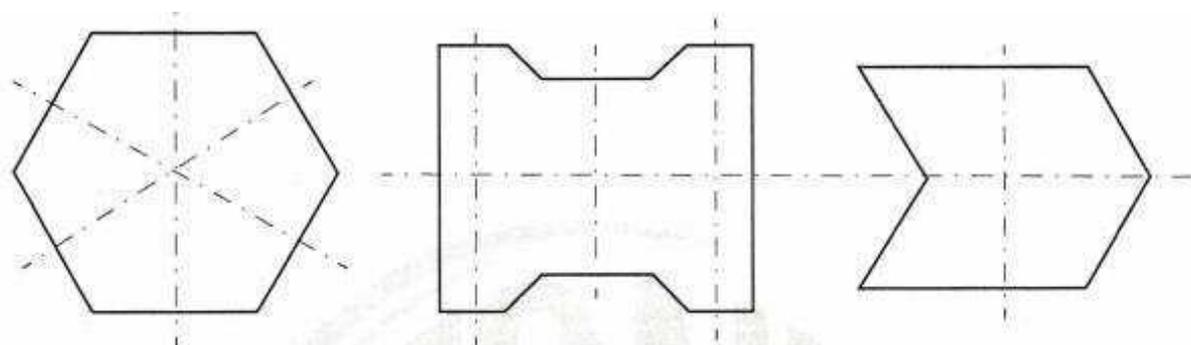
**Figura 3:** Modelos de peças de concreto do tipo II.



**Fonte:** Fonte: ABNT NBR 9781/2013.

Tipo III – São peças de concreto com formatos geométricos característicos, como trapézios, hexágonos, triedros etc., com pesos superiores a 4 kg, como mostrado na Figura adiante.

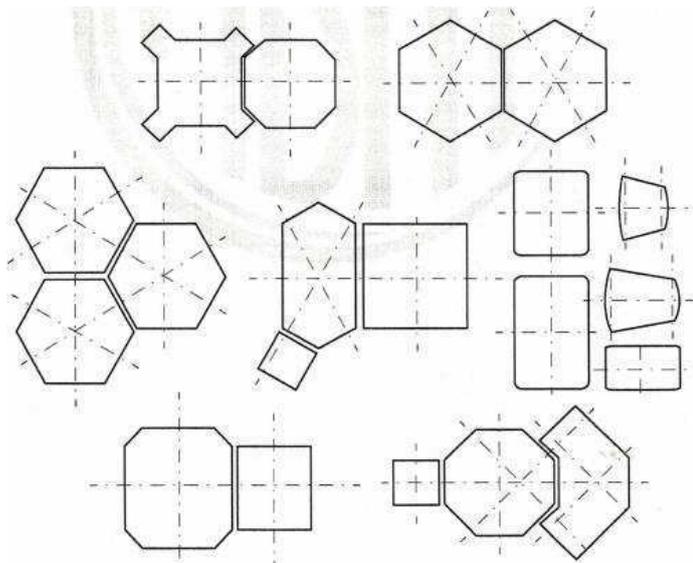
**Figura 4:** Modelos de peças de concreto do tipo III.



**Fonte:** ABNT NBR 9781/2013.

Tipo IV – São o conjunto de peças de concreto de diferentes tamanhos, ou uma única peça com juntas falsas, que podem ser utilizadas com um ou mais padrões de assentamento, como apresentado na Figura a seguir.

**Figura 5:** Modelos de peças de concreto do tipo IV.



**Fonte:** ABNT NBR 9781/2013.

Além das cores e formas, os pavers permitem diversos tipos de assentamento, tais como:

Espinha de peixe ou inclinado:

**Figura 6:** Assentamento de bloco tipo espinha de peixe ou inclinado.



**Fonte:** ABCP (2010).

Fileira:

**Figura 7:** Assentamento de bloco tipo fileira.



**Fonte:** ABCP (2010).

Reto:

**Figura 8:** Assentamento de bloco tipo reto.



**Fonte:** ABCP (2010).

Trama:

**Figura 9:** Assentamento de bloco tipo trama.



**Fonte:** ABCP (2010).

Segundo a ABCP (2010), a estrutura típica do pavimento intertravado pode ser compreendida da seguinte maneira:

- Subleito: Constituído de solo natural ou proveniente de aterro. Deve conter camadas de 15 cm de espessura, dependendo das condições locais.
- Base: Possui espessura mínima de 10 cm e é constituída de material granular, devendo ser compactado após a finalização do subleito.
- Camada de assentamento: Camada também composta por material granular, com distribuição granulométrica definida. Sua função é de acomodar os pavers, proporcionando correto nivelamento do pavimento e permitindo variações na espessura das peças de concreto.

- Camada de revestimento: Camada composta pelos pavers e material de rejuntamento, e que recebe diretamente a ação de rolamento dos veículos, tráfego de pedestres ou suporte de cargas.

Segundo a NBR 15953 (ABNT, 2011), o pavimento intertravado é classificado como flexível, sua estrutura é formada sob um revestimento de peças de concreto sobrepostas em uma camada de assentamento, as juntas entre as peças de concreto são preenchidas por um material de rejuntamento e a contenção proporciona o intertravamento do sistema.

**Figura 10:** Esquematisação da estrutura típica do pavimento intertravado.



Fonte: ABCP (2010).

Segundo Almeida (2016), as espessuras das camadas constituintes do pavimento intertravado, assim como nos pavimentos asfálticos, de acordo com a NBR 15953 (ABNT 2011), irão depender das seguintes características: intensidade do tráfego que circulará sobre o pavimento; características do terreno de fundação e qualidade dos materiais constituintes das demais camadas.

Segundo o DNIT (2006), de um modo geral, os pavimentos flexíveis possuem uma distribuição aproximadamente equivalente da tensão entre as camadas, uma vez que todas sofrem uma deformação plástica quando se submete um carregamento ao sistema.

A camada de base é o componente que recebe as tensões da camada de revestimento e as distribui sobre a sub-base ou subleito, desempenhando a função estrutural de proteger a camada posterior para que ela não sofra deformações excessivas que conseqüentemente deterioram o pavimento (CRUZ, 2003).

A sub-base é a camada que pode ser requerida durante o dimensionamento do pavimento para garantir a estabilidade do sistema e economia do projeto, o seu uso depende da magnitude das cargas gerada pelo tráfego e as características dos

materiais constituintes do subleito e base, entre outras condições de projeto (SHACKEL, 1991 apud CRUZ, 2003).

O revestimento ou capa de rolamento é a camada que recebe diretamente a ação do tráfego, tem como principal função melhorar as condições de segurança e trafegabilidade da faixa de rolamento, e aumenta a durabilidade estrutura (SENÇO, 1997).

As peças de concreto que compõe o revestimento são maciças, o seu assentamento sobre um colchão de areia permite a distribuição das forças entre as peças, a contenção lateral impede o deslocamento do revestimento e a areia de rejuntamento impede o movimento horizontal individual, com isso o intertravamento do sistema é garantido, impedindo deslocamento individuais, seja ele vertical, horizontal, de rotação ou giração em relação a suas peças vizinhas (ALMEIDA, 2002).

A variedade de formas e cores que as peças de concreto podem assumir abre uma gama de possibilidades de ordem estética que pode se obter com o pavimento intertravado (PORTLAND, 2010).

O pavimento intertravado possui quatro tipos de intertravamento (horizontal, vertical, rotacional e de giração) que atuam simultaneamente ao longo do tempo e podem ser descritos segundo Fioriti (2007) da seguinte maneira:

#### I. Intertravamento Horizontal

Os pavers com intertravamento horizontal são os mais utilizados e permitem um sistema de assentamento bem simples. Pode ser compreendido como a capacidade de um paver de não se deslocar horizontalmente em função dos pavers vizinhos, mesmo em qualquer tipo de assentamento (HALLACK, 2001 apud FIORITI, 2007).

#### II. Intertravamento vertical

Entende-se por intertravamento vertical como a capacidade de um paver não se deslocar verticalmente em função dos pavers vizinhos. Sendo isso possível graças ao cisalhamento absorvidos pelo rejuntamento de areia entre os pavers e a capacidade estrutural das camadas inferiores do pavimento (KNAPTON, 1996 apud FIORITI, 2007).

#### III. Intertravamento rotacional

Knapton (1996) apud Fioriti (2007), define o intertravamento rotacional como sendo a capacidade do paver de não girar em seu próprio eixo em qualquer direção. Isso se

deve ao fato da espessura das juntas entre os pavers e consequente confinamento proporcionado pelos pavers vizinhos.

#### IV. Intertravamento giratório

Segundo Hallack (2001) apud Fioriti (2007), o intertravamento giratório consiste na capacidade em que os pavers adquirem de não girar em torno do seu próprio eixo horizontal, ou seja, uma ou mais peças poderão girar, ainda que mantendo a planície da superfície do pavimento.

### **4.2 Peças de concreto para pavimentação**

As peças pré-moldadas de concreto apresentam-se como alternativa de camada para pavimentos flexíveis, sua utilização é vista em várias áreas da construção civil em um sistema de intertravamento. Para melhor compreender o seu emprego para tal fim recorre-se a dados históricos que remontem suas origens e o desenvolvimento tecnológico das técnicas de pavimentação ao passar do tempo (SILVA, 2005).

O tipo de técnica empregada nas construções dos caminhos romanos, dentre outras coisas, dependia da disponibilidade local de materiais e expectativa de utilização, enquanto solo arenoso misturado às pedras naturais do tipo de seixos rolados eram geralmente empregados em caminhos de longa distância, as pedras talhadas manualmente nas formas retangulares e poligonais eram utilizadas em vias de maior tráfego dentro das cidades (CRUZ, 2003).

O sistema de pedras talhadas foi utilizado na construção de uma importante estrada na época, a via Ápia, que ligava Roma a Cápua, no sul da Itália. As pedras talhadas eram intervaladas permitindo o tráfego de veículos rodantes, com o sucesso da via Ápia, o sistema foi utilizado em outros projetos viários como a Via Ostiense que ligava Óstia a Roma, e vias urbanas em Pompéia, no sul da Itália (BERNUCCI et al., 2006).

Conforme Muller (2005), o crescente tráfego de material rodante para o transporte de cargas com fins comerciais e a mudança na composição das cargas transportadas influenciaram o processo evolutivo das peças utilizadas para o revestimento das estradas, exigindo aprimoramento das técnicas, e o emprego de novos materiais, para obter melhores desempenhos. O mesmo autor ainda explica que o processo de evolução de materiais para a pavimentação intertravada é

representada basicamente por quatro tipos de materiais: blocos de tijolos, pedra talhada, blocos de madeira e peças de concreto.

Durante o século XVII surge a pavimentação com pedras talhadas em fileiras ou tipo espinha de peixe, havendo uma grande preocupação em homogeneizar as dimensões das peças a fim de manter as juntas estreitas entre as peças. No século XX, adotou-se a prática de selar as peças de pedras talhadas com argamassa de cimentos, comumente aplicada em cidades do interior do Brasil, conhecida como pavimento de paralelepípedos (MULLER, 2005).

No século XIX registrou-se o emprego de peças de madeira para a pavimentação no intuito de diminuir o nível de ruído, especialmente em locais onde as carruagens tinham rodas de ferros, de fato houve a redução da poluição sonora, porém, durante as chuvas, as estradas ficavam escorregadias, dessa forma, com o aparecimento dos automóveis com pneus de borracha, esse tipo de pavimento entrou em desuso (BERNUCCI et al., 2006).

No final do século XIX, com a criação de fornos que queimavam tijolos a altas temperaturas, foi possível produzir tijolos de argila mais resistente, e seu uso foi bastante difundido na América e Europa (CRUZ, 2003).

De acordo com Dowson (2009), o surgimento de pavimentos contínuos “in situ” utilizando camadas de ligantes, betuminosos ou hidráulicos, fomentou o aumento do declínio da pavimentação do tipo segmentar durante o século XX. O cenário da pavimentação segmentar teve um revés com a invenção de máquinas capazes de confeccionar blocos de concreto de alta qualidade, precisão dimensional e economia. Os blocos de concreto produzidos se apresentaram como grandes inovações da indústrias de pré-moldados, e revitalizou a tradicional forma de pavimentação, aumentando o seu uso ainda durante a metade do século XX.

### **4.3 Scheelita**

A scheelita pertence à classe dos tungstatos, especificamente é um tungstato de cálcio –  $\text{CaWO}_4$  ( $\text{CaO} = 19,4\%$  e  $\text{WO}_3 = 80,6\%$ ); sendo encontrado em quatro cores: Branca, amarela, verde e marrom (MACHADO, 2012).

Esse mineral pode ser encontrado nos pegmatitos graníticos, nos depósitos metamórficos de contato, nos filões de minérios de alta temperatura que estão associados em rochas graníticas e em certos ambientes, pode ser encontrada juntamente com ouro (DANA, 1974).

Por ser fonte de tungstênio, mineral metálico de largo uso na indústria bélica e da aviação, a scheelita teve sua maior exploração no Brasil durante a segunda guerra mundial, pois fornecia este produto para as nações beligerantes (ASSIS, 2006).

Em 2013, a produção de tungstênio somou 843 toneladas e cresceu 24% em relação ao concentrado produzido em 2012, sendo produzidas 676 toneladas do concentrado de scheelita (DNPM, 2014).

A mina de Brejuí é considerada a maior mina de scheelita da América do Sul, tendo início de suas atividades de exploração em 1943, data de descoberta do minério no município. Porém, somente em 1954 a mina de Brejuí foi constituída empresa com o nome de Mineração Tomaz Salustino S/A (MACHADO, 2012).

Segundo Gerab (2014), scheelita é explorada a fim de se obter o tungstênio de uso difundido na produção de lâmpadas e canetas, na indústria metalúrgica, bélica, petrolífera, dentre outras.

Ao final do processo de beneficiamento da scheelita é gerado um grande volume de rejeito, provocando depósitos em locais inapropriados e conseqüentemente, proporcionando preocupantes formas de degradação ambiental, no qual é facilmente perceptível nas regiões exploradoras pelas enormes pilhas de rejeitos que ficam expostas ao ar livre ao longo do seu período de exploração (DANA, 1974).

Alguns dos principais impactos ambientais provenientes da extração de scheelita estão relacionados ao solo (erosões), flora (abertura de acessos e picadas), ar (britagem e detonações), poluição sonora (marteleiros pneumáticos), gases (ustulação da pirita) e alterações estéticas da paisagem (pilhas de rejeito). (MINERAÇÃO TOMAZ SALUSTINO, 2018).

#### **4.4 Extração de areia e impactos ambientais**

Segundo Santos et al (2010), entendesse por depósitos de areia como o resultado da concentração de grãos de quartzo pelos agentes naturais de intemperismo, transporte e deposição a partir de rochas preexistentes, gerando acumulações com maior ou menor concentração de areia.

Bauermeister & Macedo (1994) apud Souza (2001), consideram a atividade extrativista de areia uma grande causadora de problemas ambientais e onde se concentram as mais graves transformações da paisagem.

A exploração da areia traz diversos efeitos negativos para a natureza, principalmente quando a atividade é realizada de forma irregular. Rufino, Farias e Neto (2008), abordam os impactos negativos a natureza que essa exploração pode ocasionar, na qual, pode-se destacar o impacto sobre a fauna e a flora, modificação e poluição dos cursos d'água e depreciação da qualidade do solo.

No entanto, as atividades de extração mineral são de grande importância para o desenvolvimento social, mais também são responsáveis de impactos ambientais negativos muitas vezes irreversíveis (BRANDT, 1998 apud SANTOS et al, 2010).

A extração da areia em grande quantidade promove o surgimento de áreas degradadas que não se integram ao desenvolvimento regional. Embora a mesma seja necessária, ela deve ser feita de maneira a minimizar os impactos ambientais, principalmente os da paisagem (SOUZA, 2001).

Neste contexto, a substituição mesmo que parcial da areia por um material alternativo, neste caso o resíduo de scheelita, na confecção de pavers, desde que obedeça às exigências mínimas estabelecidas por norma, seria uma solução bastante viável, visto que minimizaria as áreas degradadas, o descarte inadequado dos resíduos e conseqüentemente, os impactos ambientais.

#### **4.5 Uso de resíduos em peças de concreto para pavimento intertravado**

Segundo Almeida (2016), um dos materiais da construção civil mais consumido no mundo é o concreto, sendo o mesmo, formado basicamente por cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água. Neste contexto, a utilização de resíduos no concreto é uma das formas de melhorar a oferta de materiais de construção, tornando possível a redução do valor dos insumos, gerando benefícios ambientais e sociais.

A preocupação de propor um destino final adequado dos resíduos que seriam descartados no meio ambiente, na produção de peças de concreto para pavimentação intertravada é um estudo muito vasto e amplo, visto que são inúmeros os resíduos que podem ser utilizados, bem como, a sua porcentagem de substituição, de modo a suportar as resistências mecânicas mínimas estabelecidas por norma.

Alguns tipos de resíduos utilizados para a substituição do agregado e os seus resultados encontrados podem ser averiguados a seguir:

Almeida (2016), em sua tese, avaliou os efeitos da incorporação de Politereftalato de etileno (PET) em substituição parcial ao agregado miúdo em concretos para produção de peças para pavimento intertravado. Como resultado,

afirmou ter encontrado um êxito parcial, pois de maneira geral, com a substituição do resíduo houve uma perda de resistência, no entanto, é bastante promissor, levando em consideração que proporciona a eliminação segura destes resíduos (que de outra forma teria ido para aterros sanitários ou lixões a céu aberto causando danos ao meio ambiente).

Fioriti (2007), em sua tese, avaliou a viabilidade técnica da incorporação de resíduos gerados pelo processo de recauchutagem de pneus, na produção de pavers de concreto para pavimentação intertravada. E assim como Almeida (2016), também encontrou uma perda de resistência quando comparado com o convencional, todavia, as resistências encontradas são suficientes para serem utilizadas na pavimentação intertravada de tráfego leve.

Purificação (2009), em sua dissertação, estudou o uso de agregados reciclados de concreto e substituição do cimento por resíduo de polimento de porcelanato na produção de piso intertravado de concreto. O mesmo encontrou uma capacidade satisfatória no desempenho mecânico dos ensaios de compressão.

Carvalho (2013), em sua dissertação, estudou a viabilidade da substituição parcial do agregado fino e do cimento pelos resíduos da retífica de placas cerâmicas de revestimento na fabricação de peças pré-moldadas de concreto para uso em pisos intertravados. Os resultados demonstraram que a incorporação parcial de resíduos da retífica de cerâmica de revestimento em substituição ao cimento e à areia é viável na produção de concreto para pisos intertravados.

#### **4.6 Avaliação dimensional**

Segundo Fioriti (2007), a padronização nas dimensões do pavimento intertravado é de suma importância, visto que não havendo uma precisão dimensional, suas juntas não irão se encontrar, impedindo assim a execução do modelo escolhido para o assentamento, como também, o seu nivelamento final será afetado se as suas espessuras estiverem distintas.

Neste contexto, a NBR 9781 (ABNT, 2013) estabelece as seguintes dimensões e tolerâncias das peças de concreto:

- a. Comprimento nominal de no máximo 250 mm;
- b. Largura real de no mínimo 97 mm para peças destinadas à aplicação de carga destinadas ao ensaio de resistência à compressão;
- c. Espessura de no mínimo 60 mm, especificada em múltiplos de 20;

- d. Índice de Forma (IF), que consiste na relação entre o comprimento e a largura, menor ou igual a 4.

As tolerâncias dimensionais dos pavers estão especificadas na Tabela 1 a seguir:

**Tabela 1:** Tolerância dimensional das peças de concreto.

<b>Especificação Técnica</b>	<b>Solicitação</b>	<b>Limites Admissíveis</b>
Tolerância dimensional (mm)	Comprimento	$\pm 3$
	Largura	$\pm 3$
	Altura	$\pm 5$

**Fonte:** ABNT NBR 9781/2013.

#### **4.7 Absorção de água**

A absorção de água das peças de concreto representa a variação da massa de um corpo sólido devido a infiltração de água em seus poros em relação a sua massa em estado seco.

Para a determinação da absorção de água foi utilizado os procedimentos descritos na NBR 9781 (ABNT, 2013), na qual estabelece uma absorção de água nas peças de concreto intertravado um valor médio menor ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%.

#### **4.8 Resistência característica à compressão**

Também normatizado pela NBR 9781 (ABNT, 2013), o ensaio a resistência à compressão da peça de concreto é obtido dividindo-se a carga de ruptura, pela área de carregamento e multiplicando o resultado por um fator que está em função da altura da peça.

De acordo com a sua disponibilidade final, a mesma norma estabelece valores de resistências mínimas, como pode ser observado na Tabela 2 a seguir:

**Tabela 2:** Resistência característica à compressão.

<b>Especificação Técnica</b>	<b>Solicitação</b>	<b>Limites Admissíveis</b>
Resistência à Compressão (Mpa)	Tráfego de pedestres, veículos leves e comerciais de linha	$\geq 35$
	Tráfego de veículos especiais e solicitações de efeitos de abrasão acentuados	$\geq 50$

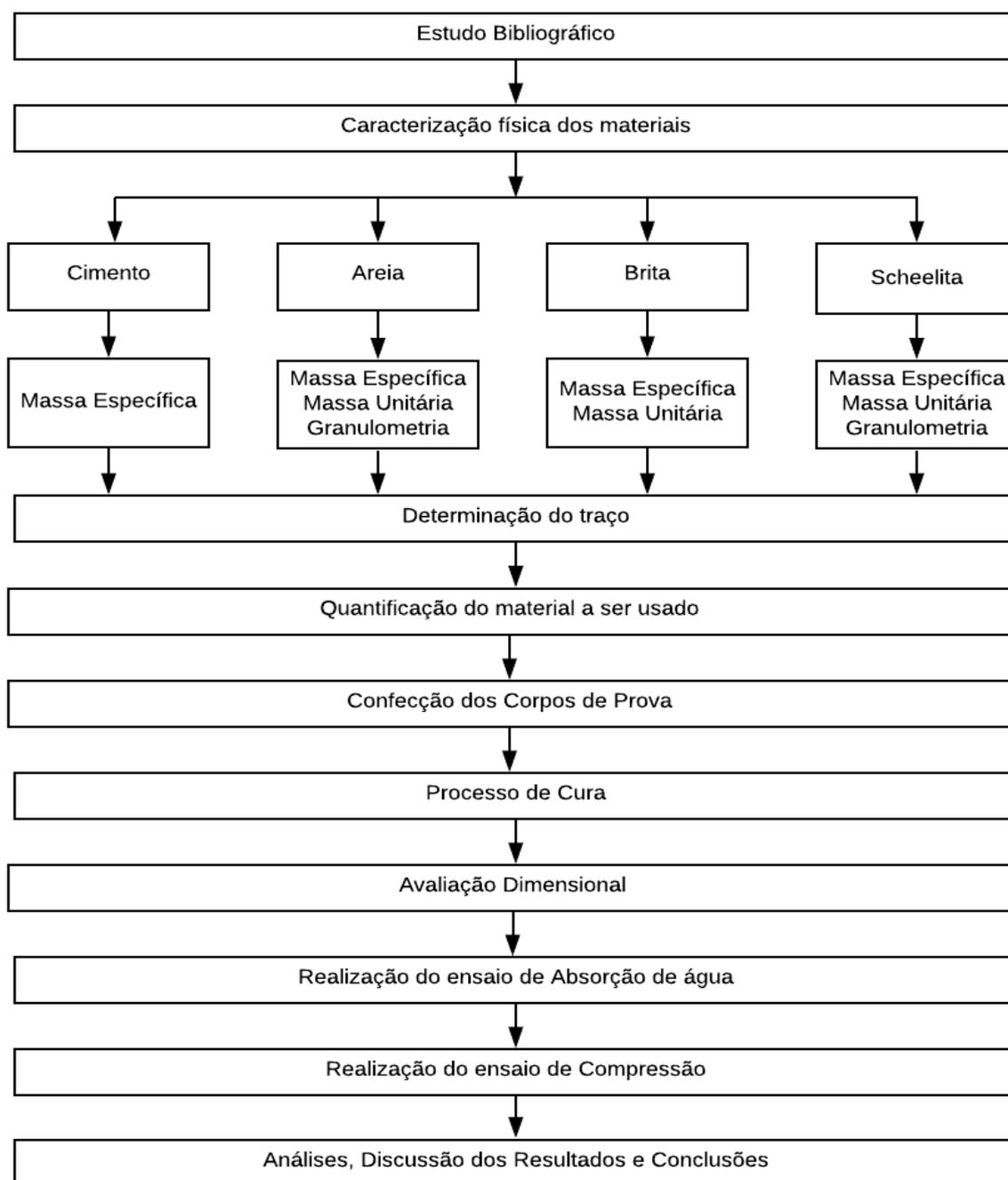
**Fonte:** ABNT NBR 9781/2013.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item será detalhado todos os materiais utilizados, bem como os procedimentos adotados para o desenvolvimento desta pesquisa.

Para conseguir alcançar os objetivos propostos acima, foi desenvolvido um fluxograma com uma sequência lógica de execução, como pode ser averiguado na Figura 11 a seguir:

**Figura 11:** Fluxograma dos passos efetuados na pesquisa.



**Fonte:** Autor (2020).

Os ensaios de caracterização física foram executados no Laboratório de Estrutura e Materiais de Construções da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Campina Grande. A confecção, processo de cura e avaliação dimensional dos intertravados foram executados na empresa “A” que trabalha com a fabricação de peças de concreto pré-moldados. O ensaio de absorção de água foi realizado na Escola Dário Gomes de Lima, localizada no município de Flores-PE e o ensaio de compressão foi realizado no laboratório de engenharia civil da Universidade Federal de Campina Grande – Campus Pombal.

## 5.1 Materiais

Foram utilizados os seguintes materiais:

- ✓ Agregado graúdo (brita 0): Obtida no comércio local do município de Campina Grande – PB.
- ✓ Agregado miúdo (areia): Obtida no comércio local do município de Campina Grande – PB.
- ✓ Agregado miúdo (scheelita): Doado no dia 3 de agosto de 2018, pela mina de Brejuí, localizado no município de Currais Novos – RN.
- ✓ Material ligante (cimento Portland CP II F32): Obtido no comércio local do município de Princesa Isabel – PB.
- ✓ Água: Obtida pela distribuidora local do município de Princesa Isabel – PB.

## 5.2 Métodos

Após a obtenção de todos os materiais, para a produção das peças de concreto não convencional, foi realizado a caracterização física dos agregados miúdo e graúdo com o propósito de se definir um traço pelo método da ABCP. Já na produção das peças de concreto convencional, foi utilizado o traço no qual a empresa “A” já trabalha. Assim, a partir das diferentes porcentagens de substituições, foi estabelecido o total de corpos de prova a serem utilizados, no intuito de se quantificar o total de material a ser utilizado em cada traço (adotando uma porcentagem de perda dos materiais de 15%), assim todas as amostras de cada composição foram moldadas nas mesmas condições. Desta forma, foram produzidas todas as peças intertravadas para serem submetidas aos ensaios.

## 5.2.1 Caracterização física

### 5.2.1.1 Massa específica do cimento

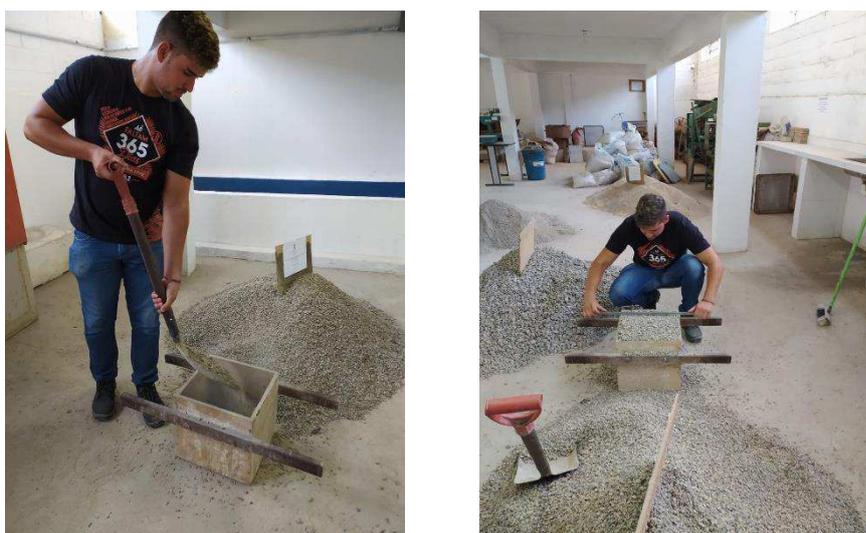
Definida pela NBR 16605 (ABNT, 2017), esta norma determina a massa específica do cimento Portland, basicamente por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier e um líquido que não reaja quimicamente com o cimento, neste caso, foi utilizado querosene.

### 5.2.1.2 Massa unitária

A NBR 45 (ABNT, 2006) define massa unitária como a relação entre a massa do agregado lançado em um recipiente conhecido e o volume desse recipiente.

Assim, foi utilizado a mesma norma para determinar o valor da massa unitária, do agregado miúdo e graúdo, pelo método C - massa unitária solta de agregado seco ou úmido. Deste modo, com o auxílio de uma padiola com volume e peso conhecido, foi realizado o preenchimento do recipiente com o agregado de modo a evitar o máximo a segregação do material.

**Figura 12 e 13:** Preenchimento e rasamento.



**Fonte:** Autor (2020).

**Figura 14 e 15:** Padiola preenchida com o agregado miúdo e graúdo.



**Fonte:** Autor (2020).

### 5.2.1.3 Massa específica

Entende-se por massa específica segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2009) como sendo a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis.

Para a realização do ensaio, coloca-se 1kg do agregado miúdo em um recipiente com água. Após um período de 24 horas, a amostra foi retirada da água e estendida sobre uma superfície plana, submetendo-a à ação de uma suave corrente de ar, revolvendo a amostra com frequência, até que os grãos da amostra não estejam fortemente unidos.

Em seguida, o agregado foi colocado no molde de formato cônico e compactado em sua superfície com 25 golpes suaves por uma haste de socamento. Como ao levantar o molde verticalmente, a amostra desabou, isso indica que o agregado miúdo está na condição de saturado superfície seca, podendo assim iniciar os procedimentos, caso ocorresse o contrário, deveria ter submetido a uma nova secagem.

Deste modo, para a determinação da massa específica do agregado miúdo foi utilizado uma amostra de 500g do agregado miúdo previamente seca em estufa. Em seguida, adicionou-se 200 ml de água no frasco Chapman e com o auxílio de um funil, foi adicionado a amostra do agregado, para que em seguida fosse agitado o frasco com movimentos circulares no intuito de se eliminar as bolhas, como pode ser averiguado a seguir:

**Figura 16 e 17:** Adição da amostra do agregado miúdo e o frasco Chapman com a água e o agregado após agitação.



Fonte: Autor (2020).

Após o período de 1 hora do contato da água com a amostra, realizou-se a leitura final do nível da água, que representa o volume de água deslocado pelo agregado.

Portanto, com a massa da amostra e o seu volume, determinou-se a sua massa específica.

Para a determinação da massa específica do agregado graúdo na condição saturada de superfície seca, designado ao uso em concreto, foi utilizado os procedimentos estabelecidos pela NBR NM 53 (ABNT, 2009).

#### **5.2.1.4 Composição granulométrica**

Para a realização deste ensaio, teve-se como parâmetro a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Este experimento consiste no peneiramento de uma amostra do agregado, numa série de peneiras normal definidas. Com o intuito de se obter principalmente o módulo de finura do agregado miúdo, para utilizá-lo na determinação do traço, este ensaio foi realizado na areia (100%) e na scheelita, nas suas proporções de 10%, 25%, 50% e 100%.

Foram utilizadas duas amostras de 1 Kg da mesma composição e em seguida submetidas ao peneiramento. Posteriormente foi pesado a massa retida em cada peneira e feito uma média com aproximação de 0,1%.

**Figura 18 e 19:** Sequenciamento de peneira e agitação manual.



Fonte: Autor (2020).

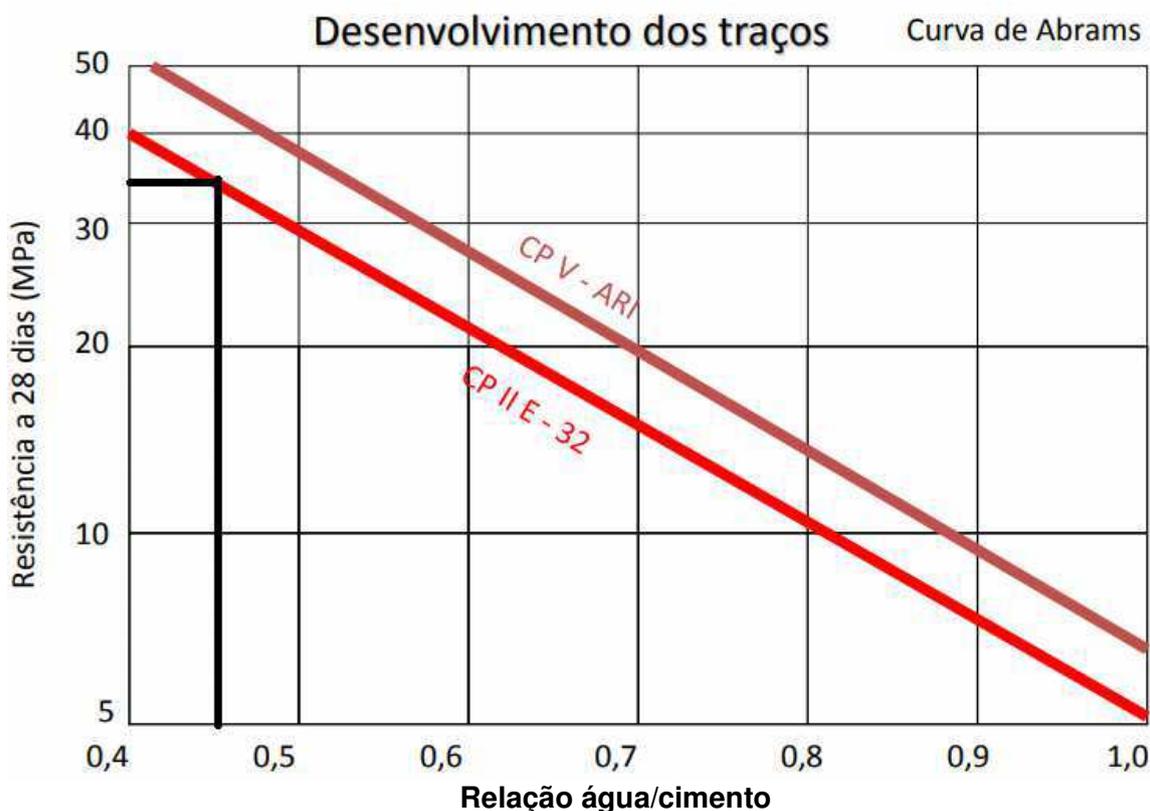
## 5.2.2 Determinação do traço

Fundamentado nos resultados obtidos das características físicas, foi definido o traço a ser utilizado pelo método da ABCP.

### 5.2.2.1 Determinação do fator água/cimento

Inicialmente foi decidido a relação água/cimento pela curva de Abrams. O cimento utilizado para a produção dos pavers foi o do tipo CP II e deseja-se obter um concreto com resistência mecânica de 35 Mpa (mínimo estabelecido pela NBR 9781, ABNT 2013 para tráfego leve). Deste modo, foi obtido uma relação água/cimento de 0,46, como pode ser observado na Figura abaixo.

**Figura 20:** Curva de Abrams.



**Fonte:** G. Dreux apud MAYOR (2014).

Em seguida, foi determinado uma aproximação do consumo dos materiais a serem utilizados (água, cimento e agregados).

### 5.2.2.2 Determinação do consumo de água estimada

Neste contexto, para determinação do consumo de água ( $C_a$ ) do concreto, com determinada consistência, a mesma está em função principalmente dos seus agregados e do consumo de cimento, deste modo, a sua determinação exata deve ser realizada experimentalmente (RODRIGUES, 1983). Assim, almejando uma boa trabalhabilidade e um fck normatizado, foi adotado um abatimento do tronco de cone de 70 mm.

O agregado graúdo utilizado foi a brita 0, possuindo assim uma dimensão máxima de 9,5 mm. Deste modo, relacionando o abatimento com a dimensão máxima do agregado graúdo, determinou-se o consumo aproximado de água de 220 L/m<sup>3</sup>, como pode ser averiguado na Tabela a seguir.

**Tabela 3:** Determinação do consumo de água aproximado em L/m<sup>3</sup>.

ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE (mm)	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (mm)			
	9,5	19	25	32
40 a 60	215	185	180	175
60 a 80	<b>220</b>	190	185	180
80 a 100	225	195	190	185

Fonte: Rodrigues (1983).

### 5.2.2.3 Determinação do consumo de cimento

Estabelecido o consumo de água ( $C_a$ ), determinou-se o consumo de cimento ( $C_c$ ) para 1 m<sup>3</sup> de concreto, estabelecido pela seguinte equação:

$$\frac{a}{c} = \frac{C_a}{C_c}$$

Onde  $\frac{a}{c}$  é dado pela relação água/cimento. Deste modo, o consumo de cimento foi de 478,3 Kg.

### 5.2.2.4 Determinação do consumo do agregado graúdo

Posteriormente foi determinado o consumo do agregado graúdo ( $C_{ag}$ ) pela equação a seguir:

$$C_{ag} = V_{ag} * \mu_{ag}$$

Onde:

$\mu_{ag}$  = Massa unitária do agregado graúdo (m<sup>3</sup>);

$V_{ag}$  = Volume do agregado graúdo (m<sup>3</sup>).

O volume aparente do agregado graúdo compactado por m<sup>3</sup> é determinado pela tabela 4, encontrada a partir de dois parâmetros, o módulo de finura da areia (2,6) e a máxima dimensão do agregado graúdo. Assim, relacionando os dois parâmetros na tabela abaixo, encontramos um  $V_{ag} = 0,565$ .

**Tabela 4:** Volume do agregado graúdo (m<sup>3</sup>).

MF	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (mm)			
	9,5	19	25	32
2,2	0,605	0,73	0,755	0,78
2,4	0,585	0,71	0,735	0,76
2,6	<b>0,565</b>	0,69	0,715	0,74
2,8	0,545	0,67	0,695	0,72
3	0,525	0,65	0,675	0,7
3,2	0,505	0,63	0,655	0,68
3,4	0,485	0,61	0,635	0,66

Fonte: Rodrigues (1983).

Portanto, com uma massa unitária do agregado graúdo de 1480 (Kg/m<sup>3</sup>) e um volume do agregado graúdo de 0,565 m<sup>3</sup>, obteve-se um consumo de agregado graúdo de 836,2 Kg.

#### 5.2.2.5 Determinação do consumo do agregado miúdo

O consumo de agregado miúdo ( $C_{am}$ ) é encontrado pela seguinte equação:

$$C_{am} = Y_{am} * V_{am}$$

Sendo  $Y_{am}$  e  $V_{am}$  a massa específica e o volume do agregado miúdo respectivamente.

O volume do agregado miúdo pode ser encontrado pela diferença entre a soma dos volumes absolutos dos demais itens já calculados em relação a 1m<sup>3</sup> de concreto (Rodrigues, 1983, pag. 24). Exemplificado na equação a seguir:

$$V_{am} = 1 - \left( \frac{C_c}{Y_c} + \frac{C_{ag}}{Y_{ag}} + \frac{C_a}{Y_a} \right)$$

Onde  $Y_c = 3100$  (Kg/m<sup>3</sup>),  $Y_{ag} = 2793$  (Kg/m<sup>3</sup>) e  $Y_a = 1000$  (Kg/m<sup>3</sup>), são as massas específicas do cimento, da areia e da água respectivamente.

Assim, encontramos um consumo de agregado miúdo de 858,94 m<sup>3</sup>.

**Tabela 5:** Consumo de materiais para a produção de 1m<sup>3</sup> de concreto.

Consumo de material (kg/m <sup>3</sup> )			
Cimento	Areia	Brita	Água
478,3	858,9	836,2	220

Fonte: Autor (2020).

Portanto, definido os consumos dos materiais, foi definido o traço referência em massa a ser utilizado, como ser observado na tabela a seguir:

**Tabela 6:** Traço padrão adotado.

TRAÇO			
Cimento	Areia	Brita	Água
1	1,8	1,7	0,46

Fonte: Autor (2020).

A substituição do resíduo de scheelita nas proporções definidas no agregado miúdo foram realizadas de modo que não foi alterado a proporção do traço padrão.

### 5.2.3 Produção do intertravado

Após definido o traço e a quantidade de material a ser utilizado, se deu início a produção das peças de concretos. Para cada composição foram produzidas seis peças de concreto, sendo os pavers da composição convencional fornecidas e produzidas pela empresa. Já para as substituições de 10%, 25%, 50% e 100% foi o adotado traço encontrado pelo método da ABCP, com uma porcentagem de perda de material de 15%.

**Tabela 7:** Quantidade de material usada em Kg nas quatro substituições de scheelita, adotando uma perda de 15% de material.

Substituição	Cimento	Areia	Scheelita	Brita	Água	UN
10%	5,3	8,5	0,9	9,2	2,4	KG
25%	5,3	7,1	2,4	9,2	2,4	
50%	5,3	4,7	4,7	9,2	2,4	
100%	5,3	0	7,1	9,2	2,4	

Fonte: Autor (2020).

Na produção de cada traço, inicialmente era lavada a betoneira, em seguida adicionou-se o agregado graúdo, juntamente com metade do total de água a ser utilizado. Misturou-se por cerca de um minuto, em seguida foi adicionado todo o cimento aos poucos, posteriormente foi inserido o agregado miúdo juntamente com o restante da água e girou-se a betoneira por cerca de mais quatro minutos.

**Figura 21 e 22:** Mistura dos agregados na betoneira e concreto finalizado.



**Fonte:** Autor (2020).

Finalizado a produção do concreto, os mesmos foram alocados em suas fôrmas (na qual estavam compostas por lubrificantes para facilitar o seu desmolde) e levados até a mesa vibratória. Para a inserção do concreto nas fôrmas primeiramente foi realizado o preenchimento de metade de seu volume, vibração da mesa para eliminação das bolhas de ar e por fim, o seu enchimento total.

**Figura 23 e 24:** Adição de lubrificante na fôrma do paver.



**Fonte:** Autor (2020).

**Figura 25 e 26:** Preenchimento das fôrmas de intertravado com concreto na mesa vibratória.



**Fonte:** Autor (2020).

Posteriormente, foi feito o alisamento de sua superfície com uma colher, identificados e alocados devidamente.

**Figura 27 e 28:** Rasamento e preenchimento das peças de concreto.



**Fonte:** Autor (2020).

Após o período de 24 horas, os intertravados foram desmoldados e submergidos em água para um processo de cura de 28 dias.

**Figura 29 e 30:** Pavers desmoldados, identificados e em processo de cura.

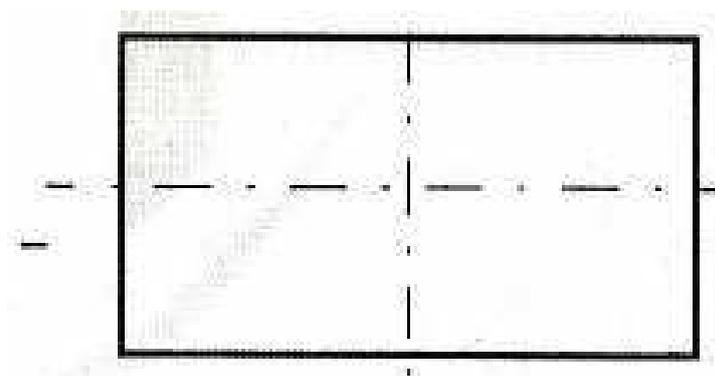


**Fonte:** Autor (2020).

#### 5.2.4 Avaliação dimensional

Para a realização da avaliação dimensional dos pavers, foi utilizado um paquímetro, pegando sempre as medidas em planos paralelos ou perpendiculares às arestas das peças do tipo I, assim como estabelecido pela NBR 9781 (ABNT, 2013).

**Figura 31:** Pontos para medidas da peça de concreto do tipo I.



**Fonte:** NBR 9781 (2013).

**Figura 32 e 33:** Avaliação dimensional dos pavers.



Fonte: Autor (2020).

### 5.2.5 Absorção de água

O ensaio de absorção de água consistiu em emergir em água três peças de concreto de cada composição à uma temperatura de  $23 \pm 5$  °C por um período de 24 horas, como especifica a NBR 9781 (ABNT, 2013). Depois retirou-se a água superficial das peças e foi medido individualmente suas massas. Esse procedimento foi repetido a cada duas horas, até que a variação entre duas medições sucessivas não fosse maior que 0,5%.

Posteriormente, as peças de concreto passaram por um processo de secagem em estufa à uma temperatura de  $110 \pm 5$  °C, por um período de 24 horas, em seguida foram verificados suas massas seca e determinado suas absorções.

**Figura 34 e 35:** Peças de concreto secas em estufa.



Fonte: Autor (2020).

### 5.2.6 Determinação da resistência característica à compressão

Na realização deste ensaio, foram seguidos os métodos estabelecidos pela NBR 9781 (ABNT, 2013). Onde os pavers estavam saturados em água, as suas superfícies devidamente capeadas e foram utilizadas duas placas auxiliares circulares de aço, com diâmetro de 90 mm e espessura de 20mm, proporcionando assim uma uniformidade no carregamento.

O resultado do ensaio de resistência a compressão (Mpa) da peça de concreto é obtido pela divisão da carga de ruptura (N) pela a área de carregamento (mm<sup>2</sup>), em seguida multiplicado esse valor pelo fator “p”, valor este que é proporcional à altura da peça.

**Tabela 8:** Fator multiplicativo p de acordo com a altura das peças de concreto.

<b>Espessura Nominal da Peça (mm)</b>	<b>p</b>
60	0,95
80	1
100	1,05

Fonte: NBR 9781/2013 (ABNT, 2013).

#### 5.2.6.1 Determinação da resistência à compressão estimada

Admite-se que as resistências à compressão obedeçam à distribuição normal, sendo o valor característico estimado pela equação:

$$f_{pk_{est}} = f_p - t * s$$

Sendo:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n - 1}}$$

Onde:

$f_p$  = Resistência média das peças (MPa);

$f_{pi}$  = é a resistência individual das peças (MPa);

$f_{pk_{est}}$  = Resistência característica estimada à compressão (MPa);

$n$  = Número de peças da amostra;

$s$  = Desvio-padrão da amostra (MPa);

$t$  = Coeficiente de Student, em função do tamanho da amostra.

**Tabela 9:** Coeficiente de Student (Nível de confiança de 80%).

n	t
6	0,92
7	0,906
8	0,896
9	0,889

**Fonte:** NBR 9781/2013 (ABNT, 2013).

Nas Figuras a seguir está representada a alocação da peça de concreto na prensa com o auxílio de duas placas auxiliares e a sua situação após o rompimento.

**Figura 36 e 37:** Alocação da peça de concreto na prensa para ruptura.



**Fonte:** Autor (2020).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Determinação da composição granulométrica

A NBR NM 248 (ABNT, 2003) define dimensão máxima característica como a dimensão da peneira que contenha uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. Já o módulo de finura como sendo a soma de todas as porcentagens retidas nas peneiras do ensaio de análise granulométrica dividido por 100.

A mesma norma também especifica os requisitos exigíveis dos agregados miúdos na produção do concreto, pode ser considerado um agregado miúdo localizado na zona ótima, aqueles que dispõem de um módulo de finura compreendido entre 2,20 e 2,90. Já para as zonas utilizáveis inferior e superior os módulos de finuras devem estar entre 1,55 e 2,20; e 2,90 e 3,50 respectivamente.

Neste contexto, foram realizadas as composições granulométricas da areia e das misturas utilizadas como agregado miúdo (scheelita 10%, 25%, 50% e 100%).

Nas Tabelas a seguir estão expressos os resultados encontrados de todas as composições granulométricas.

**Tabela 10:** Composição granulométrica - NBR 7217 – areia.

PENEIRAS		Material Retido			% que Passa da Amostra Total
N°	mm	Peso Retido (g)	% Amostra Total	% Acumulada	
4	4,8	2,6	0,26	0,26	100%
8	2,4	37,37	3,74	4,00	96,00%
16	1,2	98,88	9,89	13,89	86,12%
30	0,6	254,2	25,42	39,31	60,70%
50	0,3	452,92	45,29	84,60	15,40%
100	0,15	126,57	12,66	97,25	2,75%
<b>Fundo</b>		27,46	2,75	100,00	
<b>Amostra Total Seca (g)</b>	<b>1000</b>	<b>Diâmetro Máximo (mm)</b>	<b>2,40</b>	<b>Módulo de Finura</b>	<b>2,39</b>

Fonte: Autor (2020).

**Tabela 11:** Composição granulométrica - NBR 7217 – 10% Scheelita.

PENEIRAS		Material Retido			% que Passa da Amostra Total
N°	mm	Peso Retido (g)	% Amostra Total	% Acumulada	
4	4,8	0,9	0,09	0,09	99,91%
8	2,4	34,1	3,41	3,50	96,50%
16	1,2	102,5	10,25	13,75	86,25%
30	0,6	288,29	28,83	42,58	57,42%
50	0,3	410,4	41,04	83,62	16,38%
100	0,15	136,8	13,68	97,30	2,70%
Fundo		27,01	2,70	100,00	
<b>Amostra Total Seca (g)</b>	<b>1000</b>	<b>Diâmetro Máximo (mm)</b>	<b>2,40</b>	<b>Módulo de Finura</b>	<b>2,41</b>

Fonte: Autor (2020).

**Tabela 12:** Composição granulométrica - NBR 7217 – 25% Scheelita.

PENEIRAS		Material Retido			% que Passa da Amostra Total
N°	mm	Peso Retido (g)	% Amostra Total	% Acumulada	
4	4,8	1,13	0,11	0,113	99,89%
8	2,4	15,1	1,51	1,62	98,38%
16	1,2	103,75	10,38	12,00	88,00%
30	0,6	341,43	34,14	46,14	53,86%
50	0,3	412,96	41,30	87,44	12,56%
100	0,15	95,29	9,53	96,97	3,03%
Fundo		30,34	3,03	100,00	
<b>Amostra Total Seca (g)</b>	<b>1000</b>	<b>Diâmetro Máximo (mm)</b>	<b>2,40</b>	<b>Módulo de Finura</b>	<b>2,44</b>

Fonte: Autor (2020).

**Tabela 13:** Composição granulométrica - NBR 7217 – 50% Scheelita.

PENEIRAS		Material Retido			% que Passa da Amostra Total
N°	mm	Peso Retido (g)	% Amostra Total	% Acumulada	
4	4,8	1,6	0,16	0,16	99,84%
8	2,4	32,48	3,25	3,41	96,59%
16	1,2	125,17	12,52	15,93	84,08%
30	0,6	320,62	32,06	47,99	52,01%
50	0,3	374,66	37,47	85,45	14,55%
100	0,15	109,83	10,98	96,44	3,56%
Fundo		35,64	3,56	100,00	
<b>Amostra Total Seca (g)</b>	<b>1000</b>	<b>Diâmetro Máximo (mm)</b>	<b>2,40</b>	<b>Módulo de Finura</b>	<b>2,49</b>

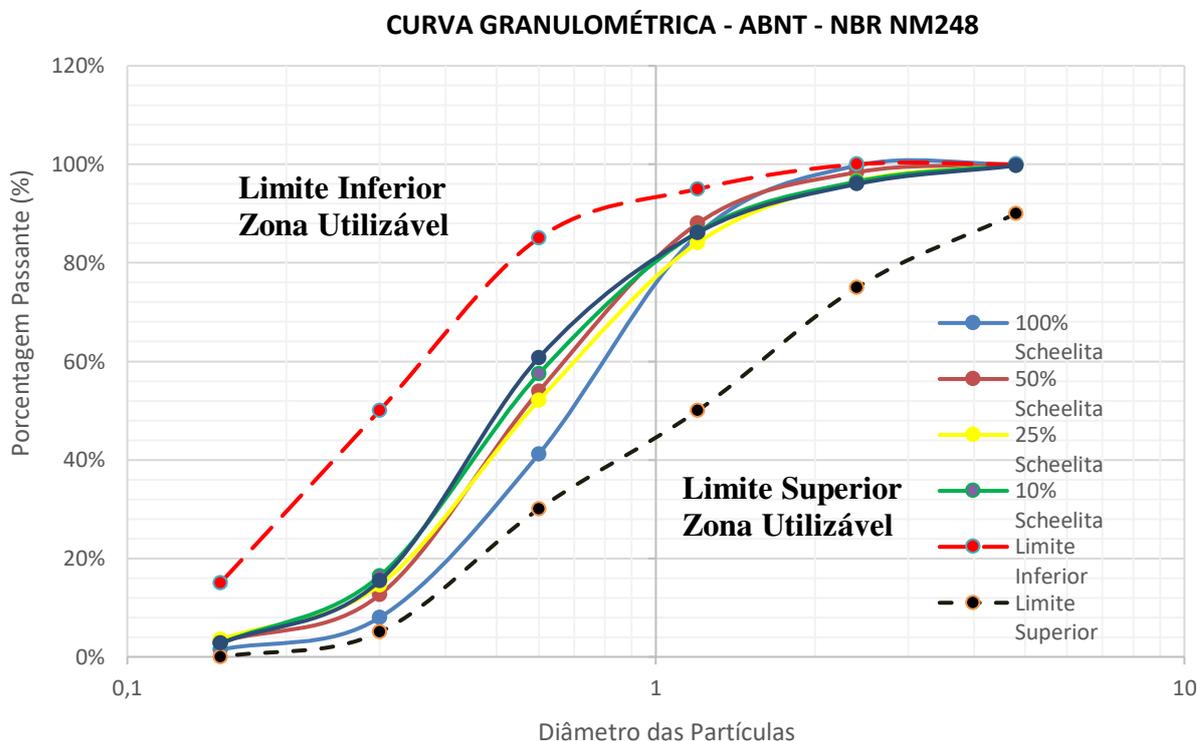
Fonte: Autor (2020).

**Tabela 14:** Composição granulométrica - NBR 7217 – 100% Scheelita.

PENEIRAS		Material Retido			% que Passa da Amostra Total
Nº	mm	Peso Retido (g)	% Amostra Total	% Acumulada	
4	4,8	0	0,00	0	100%
8	2,4	2,52	0,25	0,25	99,75%
16	1,2	139,97	14,00	14,25	85,75%
30	0,6	446,14	44,61	58,86	41,14%
50	0,3	331,81	33,18	92,04	7,96%
100	0,15	64,86	6,49	98,53	1,47%
<b>Fundo</b>		14,7	1,47	100,00	
<b>Amostra Total Seca (g)</b>	<b>1000</b>	<b>Diâmetro Máximo (mm)</b>	<b>2,40</b>	<b>Módulo de Finura</b>	<b>2,64</b>

Fonte: Autor (2020).

Neste contexto, as curvas granulométricas geradas podem ser averiguadas na Figura a seguir.

**Figura 38:** Curva Granulométrica da areia e das 4 composições de scheelita.

Fonte: Autor (2020).

Observa-se que o diâmetro máximo característico em todas substituições permaneceram o mesmo (2,4 mm) e com o aumento da porcentagem da incorporação da scheelita na areia, ocorreu o aumento do valor do módulo de finura. Segundo Bauer (2015), quanto menor o módulo de finura do agregado, maior será a superfície

específica do material, logo, exigirá uma maior necessidade de água na mistura do concreto.

Como também, todas as composições adotadas para o agregado miúdo, permaneceram dentro da margem das zonas utilizáveis, possibilitando assim a sua utilização como agregado miúdo.

## 6.2 Avaliação dimensional

Como as fôrmas utilizadas pela empresa “A” eram todas padronizadas, todos os pavers produzidos neste estudo obtiveram as mesmas dimensões em seu comprimento e largura. Já na altura, ocorreram pequenas variações no seu tamanho, isso se explica principalmente devido a execução do rasamento da sua parte superior.

**Tabela 15:** Medidas reais médias dos pavers produzidos em suas diferentes composições.

Composições	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Espessura (cm)
Convencional	19,7	9,6	5,7
10%	19,7	9,6	5,7
25%	19,7	9,6	5,8
50%	19,7	9,6	5,8
100%	19,7	9,6	5,7

**Fonte:** Autor (2020).

Todas as medidas médias reais encontradas no comprimento, largura e espessura, nas diferentes composições estavam dentro da margem de tolerância de  $\pm 3$  exigidas pela NBR 9781 (ABNT, 2013). Como também, os índices de forma encontrados de 3,45 e 3,4, ambos estão em conformidade da mesma norma, menores que 4.

## 6.3 Absorção de água

Foi realizado o ensaio de absorção de água para todas as composições de acordo com os procedimentos estabelecidos pela NBR 9781 (ABNT, 2013). Os resultados encontrados estão expostos na Tabela 16 a seguir:

**Tabela 16:** Resultados das massas úmidas, secas e absorções de todas composições.

<b>Composição</b>	<b>M. Úmida</b>	<b>M. Seca</b>	<b>Absor. (%)</b>	<b>Absor.média(%)</b>
Convencional	2510	2369	5,95	5,82
	2569	2410	6,60	
	2584	2463	4,91	
10%	2615	2521	3,73	5,06
	2615	2454	6,56	
	2609	2487	4,91	
25%	2581	2397	7,68	7,49
	2629	2452	7,22	
	2588	2406	7,56	
50%	2626	2455	6,97	7,33
	2595	2415	7,45	
	2567	2386	7,59	
100%	2631	2506	4,99	5,88
	2588	2436	6,24	
	2621	2463	6,41	

**Fonte:** Autor (2020).

Conforme os dados obtidos, percebe-se que a composição convencional e as substituições de 10% e 100% apresentaram valores médios de absorção menor que 6% e valores individuais menores que 7%. Com isso, os concretos atenderam às especificações da NBR 9781 (ABNT, 2013).

Percebe-se que a composição de 10% de scheelita foi a que proporcionou a menor absorção média, isso significa um indício de que os agregados estão bem compactos, diminuindo assim o tamanho dos poros, conseqüentemente, menor espaço para a infiltração da água nas peças de concreto.

Já as composições de 25% e 50% apresentaram valores de absorção individual e média superiores ao estipulado pela norma, uma possível causa para isso pode ser uma pequena diferença no momento da produção do concreto, em particular, no seu adensamento, já que as suas composições granulométricas não apresentaram mudanças significativas.

Um bom adensamento no concreto é fundamental para eliminação das bolhas de ar e conseqüentemente, uma menor porosidade, reduzindo assim os espaços para a retenção de água.

#### 6.4 Resistência característica à compressão

A Tabela a seguir apresentam os resultados de resistência à compressão aos 28 dias de curas dos traços convencional e das substituições pelo resíduo de scheelita.

**Tabela 17:** Resultados das cargas de ruptura, resistências à compressão desvio padrão de todas composições.

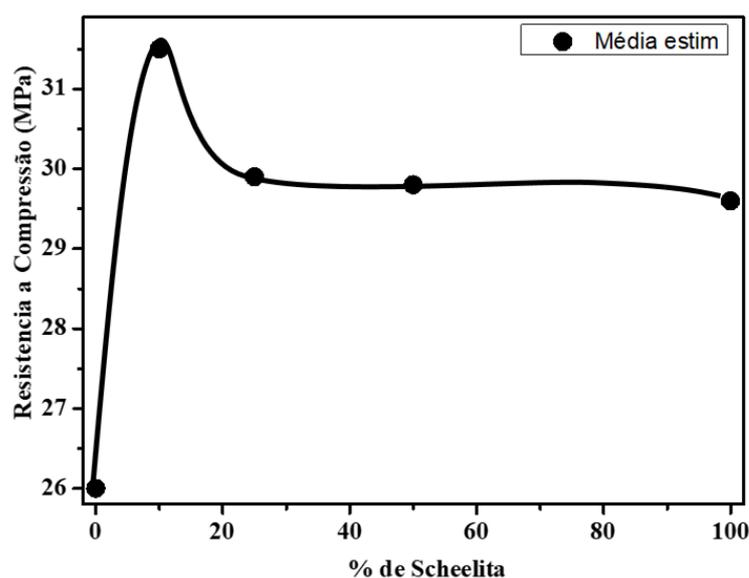
Composição	Carga de Ruptura (Ton)	Resistência à Compressão (Mpa)	Desvio Padrão	Resistência à Compressão est. (Mpa)	Resistência à Compressão est. Méd. (Mpa)
Convencional	23	33,682	3,59	30,38	26,0
	20	29,289		25,99	
	20	29,289		25,99	
	17	24,895		21,60	
10%	25	36,611	3,93	33,00	31,5
	20	29,289		25,67	
	23	33,682		30,07	
	25	36,611		33,00	
	23	33,682		30,07	
	28	41,004		37,39	
25%	24	35,146	4,14	31,34	29,9
	26	38,075		34,26	
	21	30,753		26,94	
	26	38,075		34,26	
	19	27,824		24,01	
	22	32,218		28,41	
50%	22	32,218	2,62	29,81	29,8
	24	35,146		32,74	
	20	29,289		26,88	
	22	32,218		29,81	
	24	35,146		32,74	
	20	29,289		26,88	
100%	23	33,682	3,42	30,53	29,6
	25	36,611		33,46	
	23	33,682		30,53	
	24	35,146		32,00	
	19	27,824		24,67	
	20	29,289		26,14	

**Fonte:** Autor (2020).

Na composição convencional só foram avaliadas quatro amostras, pois foram as quantidades de pavers que a empresa “A” forneceu. Já as demais composições tiveram seis amostras, como solicita a norma.

De acordo com os resultados encontrados, observou-se que a substituição da areia pelo resíduo de scheelita apresentaram resistências superiores. Todavia, apesar de algumas peças de concreto terem conseguido atingir a resistência almejada, quando foi calculada a resistência a compressão média estimada, nenhuma composição conseguiu atingir a resistência mínima de 35 Mpa proposta pela NBR 9781 (ABNT, 2013), como pode ser melhor visualizado na Figura a seguir:

**Figura 39:** Resultados das resistências características à compressão estimada média.



**Fonte:** Autor (2020).

A substituição de 10% de scheelita foi a composição que apresentou a maior resistência média estimada, 31,5 Mpa. Já o paver convencional produzido pela empresa “A” foi o que apresentou a menor resistência média estimada. Algumas possíveis causas para essa redução de resistência se devem ao fato de a empresa estar utilizando um traço que contenha uma quantidade de água superior a necessária na produção do concreto. Como também, no seu processo de adensamento, não possuir uma padronização no seu tempo de vibração, resultando assim em algumas peças de concreto com pouca vibração, consequentemente não eliminando as bolhas de ar, e outras peças com vibrações superiores ao necessário, resultando assim na segregação do agregado graúdo.

Essa falta de padronização no tempo de adensamento na produção do concreto também pode justificar a variação de resistências encontradas nas peças de concreto da mesma composição, como por exemplo na composição de 10%, na qual teve uma peça que atingiu uma resistência de 37,39 Mpa e outra de 25,67 Mpa.

É possível observar que o comportamento da substituição da scheelita atinge um crescente ganho de resistência na adição de 10%, este que foi o seu pico, em seguida, tem uma leve perda de resistências nas outras substituições, todavia, a substituição da areia por scheelita em todas as suas substituições apresentaram valores superiores de resistência a compressão.

## 7 CONCLUSÕES

As conclusões aqui obtidas com o término deste trabalho são baseadas nos resultados encontrados através dos experimentos e embasada na literatura de autores que trabalharam com o tema pavimento intertravado.

Em relação a sua granulometria todas as composições de substituição da areia por scheelita estiveram dentro do limite de zona utilizável estabelecida pela NBR NM 248 (ABNT, 2003), sendo assim possível a sua utilização como agregado miúdo.

Sobre a sua avaliação dimensional, todas as peças de concreto estiveram com suas dimensões em conformidade das exigências da NBR 9781 (ABNT, 2013).

Para o ensaio de absorção de água apenas os pavers convencionais e os de substituições de 10% e 100% de scheelita apresentaram valores de absorção média inferiores a 6% e individuais menores que 7%, assim como sugere a NBR 9781 (ABNT, 2013). Todavia, apesar das substituições de 25% e 50% terem apresentados valores acima do recomendado pela norma, esses valores foram muito próximo ao exigido. Assim, para conseguir diminuir a absorção dos mesmos, seria importante a realização de um novo acompanhamento no processo de adensamento dessas composições, visto que os mesmos apresentaram valores de composição granulométrica semelhantes as outras composições, outra alternativa seria testar uma alteração na composição de seu traço.

No ensaio de resistência característica à compressão, nenhuma das composições conseguiram atingir a resistência mínima solicitada pela NBR 9781 (ABNT, 2013) para tráfego leve. A composição convencional (100% areia) produzida pela empresa apresentou resistência característica média estimada de 26 Mpa, a substituição de 10% de scheelita foi de 31,5 Mpa, a de 25% foi de 29,9 Mpa, a de 50% foi de 29,8 Mpa e a de 100 % foi de 29,6%. Assim, nota-se que foram alcançadas resistências muito próximas, sendo a composição de 10% de scheelita a que apresentou o valor mais próximo do estabelecido pela norma.

Também é possível observar que a resistência a compressão atinge uma crescente resistência entre o traço convencional e a adição de 10% do resíduo, em seguida, ocorre uma diminuição de resistência em 25% e a partir deste ponto, parece alcançar uma estabilização na sua variação em relação as substituições de 25%, 50% e 100%. Portanto, seria importante a realização do estudo de substituições de 5%,

15% e 20% para melhor compreender o seu comportamento e assim poder estimar em qual porcentagem a substituição de scheelita alcança o seu melhor desempenho.

Os valores mínimos exigidos pela NBR 9781 (ABNT, 2013) para o ensaio de resistências à compressão são considerados muito elevados por Fioriti (2007), pois os pavimentos intertravados podem ser utilizados em ambientes de baixa sobrecarga, como por exemplo, em calçadas, praças, áreas de lazer e ciclovias. Deste modo, para estes fins, não seria necessária uma resistência de 35 Mpa, pois países como Austrália e África do Sul por exemplo, segundo o mesmo autor, estipulam limites mínimos de resistência à compressão de 25 Mpa em ambientes de solicitações leves, indicando assim viabilidade deste material.

Partindo dessa premissa, se torna necessário a revisão desta norma, visto que seria de suma importância no aspecto ambiental, pois abriria espaço para a incorporação de outros insumos, atualmente não convencionais, como por exemplo a própria scheelita. Pois apesar de não atingir a resistência mínima estipulada pela norma brasileira, conseguiu alcançar valores aproximados.

Neste contexto, apesar das composições de 25% e 50% apresentarem valores um pouco superior de absorção segundo a norma, todas as composições com o uso de scheelita apresentaram resistências à compressão superiores em relação a composição que continha apenas areia, com destaque para a substituição de 10%, que apresentou todas as exigências estabelecidas pela NBR 9781 (ABNT, 2013), com exceção do ensaio de compressão, que exigia 35 Mpa e a mesma obteve 31,5 Mpa.

Portanto a substituição da areia pelo resíduo da scheelita no agregado miúdo para produção de pavers demonstrou ser um estudo promissor, visto que a adesão desta alteração proporcionou as peças de concreto um ganho na resistência a compressão em todas as porcentagens de substituição, além de oferecer a este resíduo uma valorização no ponto de vista econômico, uma destinação final adequada e reduz os impactos ambientais promovidos pela extração da areia, contribuindo assim para produção de um produto sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Salomão Pereira de. **Uso de politereftalato de etileno (pet) como agregado em peças de concreto para pavimento intertravado**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia. Campina Grande, 2016.

ALMEIDA, L. C. **Fundamentos do concreto armado**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002. Disponível em: <[http://www.fec.unicamp.br/~almeida/cv714/Fundamentos\\_ALMEIDA.pdf](http://www.fec.unicamp.br/~almeida/cv714/Fundamentos_ALMEIDA.pdf)>. Acesso em: 01 de julho de 2019.

ALMEIDA, L. C. **Concreto**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2019.

ASSIS, Wilk Magnos Moura de. **A produção de scheelita no Rio Grande do Norte: ascensão e crise (1940 a 1960)**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, Rio Grande do Norte, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. São Paulo, 2010. 36p. Acesso no dia 24 de Junho de 2019. Disponível em: < <http://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2012/08/ManualPavimentoIntertravado.pdf> >.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Agregados – Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004. Acesso no dia 25 de Junho de 2019. Disponível em: < <http://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf> >.

\_\_\_\_\_. **NBR 11174**: Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes. Rio de Janeiro, 1990.

\_\_\_\_\_. **NBR 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção da água. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 16605**. Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 15953**: Pavimento intertravado com peças de concreto – Execução Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação-Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro (RJ): LTC, 2015. 488 p. v. 1.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras: Abeda, 2006.

Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM. **Sumário Mineral**. Brasília, Vol.34, 2014. Acesso no dia 20 de Julho de 2019. Disponível em: < <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014> >.

CARVALHO, Eduardo Viviani de. **Estudo do uso de agregados reciclados de concreto e substituição do cimento por resíduo de polimento de porcelanato na produção de piso intertravado de concreto**. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual de Campinas. Limeira, São Paulo, 2013.

CRUZ, L. O. M. **Pavimento intertravado de concreto: estudo dos elementos e método de dimensionamento**. 2003. 281 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

DANA, J. D. **Manual de mineralogia**. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1974, p. 421-422. vol. 2.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Sumário Mineral**. Vol. 34. Brasília: 2014.

DOWSON, A. J. Back-to-basics measuring the progress of understanding of over 35 years of the use of concrete block paving in the UK. 9th International Conference on Concrete Block Paving. Buenos Aires, 2009.

DIAS, S. L. **Incorporação de Resíduos de caulim em argamassa de assentamento revestimento para uso em construção civil - avaliação da atividade pozolânica**. 2010. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010. Cap. 2.

FIORITI, C. F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. 2007. 218 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

GERAB, André Tabosa Fernandes de Santa Cruz. **Utilização do resíduo grosso do beneficiamento da scheelita em aplicações rodoviárias**. 2014. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014. Disponível em: <[https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/19515/1/AndreTabosaFernandesDeSantaCruzGerab\\_DISSERT.pdf](https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/19515/1/AndreTabosaFernandesDeSantaCruzGerab_DISSERT.pdf)>. Acesso em: 10 de março de 2020.

MACHADO, T. G. **Estudo da adição de resíduo de Scheelita em matriz cerâmica: formulação, propriedades e microestrutura**. 143 f. 2012. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação de Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2012. Acesso no dia 31 de Julho de 2019. Disponível em: <[https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12813/1/EstudoAdicaoRes%c3%adduo\\_Machado\\_2012.pdf](https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12813/1/EstudoAdicaoRes%c3%adduo_Machado_2012.pdf)>.

MAYOR, Arcindo A. Vaquero y. **Concreto na indústria da construção de pisos industriais**. 8º Seminário de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho. São Paulo - SP, 2014. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/wp-content/uploads/2014/09/Guia-para-concreto-na-obra.pdf>>.

MINERAÇÃO TOMÁZ SALUSTINO. **Meio ambiente**. 2020. Disponível em: <<http://minabrejui.com.br/site/meio-ambiente/>>. Acesso em: 10 de março de 2020.

MULLER, A. M., **Avaliação de transmissão de esforços em pavimentos intertravados de blocos de concreto**. Rio de Janeiro, 2005. 234p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

PORTLAND, **Associação Brasileira de Cimento. Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. Associação Brasileira de Cimento Portland - São Paulo, 2010. 36p.

PURIFICAÇÃO, Eduardo Bruno da. **Estudo do uso de agregados reciclados de concreto e substituição do cimento por resíduo de polimento de porcelanato na produção de piso intertravado de concreto**. Dissertação (Mestrado em Escola de Engenharia) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de dosagem racional do concreto**. In: 34ª Reunião de Técnicos da Indústria do Cimento. 1983. Anais. Acesso no dia 7 de março de 2020. Disponível em: <[https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Parametros-dosagem\\_34aRTIC1983.pdf](https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Parametros-dosagem_34aRTIC1983.pdf)>.

RUFINO, A. C. da S.; FARIAS, M. S. S. de; NETO, J. D. **Avaliação qualitativa da degradação ambiental provocada pela mineração de areia – região médio curso do rio Paraíba**. Engenharia Ambiental. Espírito Santo do Pinharal, v. 5, n. 1, p. 47-64, 2008.

SANTOS, Daniel Nery & STEVAUX, José Cândido. **Alterações de longa duração na dinâmica hidrossedimentar por extração de areia no alto curso do rio paraná na região de porto rico, pr**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 29, n. 4, p. 603-612,

2010. Acesso no dia 31 de Julho de 2019. Disponível em: < <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/5480/4248> >.

SENÇO, W. **Técnicas de pavimentação**. São Paulo, Editora: PINI. 1997,174p.

SERNA, H. A. L.; REZENDE, M. M. Agregados minerais. In: DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Agregado para a construção civil**. Brasília-DF: DNPM, 2013. p. 602.

SILVA, G. J. B. **Estudo do comportamento do concreto de cimento Portland produzido com adição do resíduo de polimento do porcelanato**. Dissertação (Mestrado em Escola de Engenharia) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005, 92p.

SOUZA, Patrícia Aparecida de et all. **Estabelecimento de espécies arbóreas em recuperação de área degradada pela extração de areia**. Universidade Federal de Lavras Lavras, vol. 7, núm. 2, 2001, pp. 43-52. Acesso no dia 31 de Julho de 2019. Disponível em: < <https://www.redalyc.org/pdf/744/74470205.pdf> >.