

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AGREGADOS GRAÚDOS POR RESÍDUOS DE PISOS E REVESTIMENTOS DE PORCELANATO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO

Murilo Henrique dos Santos Batista¹

Vinicius Slompo Pinto²

RESUMO

A construção civil tem alta demanda de consumo de materiais com origens não renováveis, gerando quantidades de resíduos e, por consequência, métodos de descarte não ecológicos, os quais poluem e degradam o meio ambiente. Os pisos e revestimentos de porcelanato são materiais consumidos em grande escala na construção civil, e devido a sua geometria, geram grandes quantidades de resíduos. O objetivo desse trabalho foi analisar a resistência à compressão axial de concretos com substituição de agregados graúdos por resíduos de porcelanato. Os concretos fabricados foram dosados com base no método ABCP (1984), e com substituição de 15% e 30% de agregado graúdo natural por agregados graúdos de pisos e revestimentos de porcelanato. O concreto com substituição apresentou um aumento no abatimento proporcional à taxa de substituição de agregados de porcelanato. O concreto com substituição de 15% de agregados de porcelanato teve sua resistência a compressão bem próxima ao do concreto com agregados naturais, e o concreto com substituição de 30% de agregados de porcelanato teve um aumento de resistência a compressão de 3MPa em relação ao concreto com agregados naturais. Conclui-se que o porcelanato é um bom material para a utilização em concretos, pois há níveis consideráveis de trabalhabilidade e resistência.

Palavras-chave: Agregados Graúdos. Resíduos de Pisos e Revestimentos de Porcelanato. Características Físicas e Mecânicas. Concreto.

1 INTRODUÇÃO

O concreto possui características importantes como durabilidade, resistência, plasticidade, entre outros. Em contexto geral, o concreto é a melhor solução para a construção civil, já que seu baixo custo, várias formas de utilização e serviços que podem ser realizados justificam a sua grande procura (DINIZ, 2009).

Segundo Roth (2009), ao mesmo tempo, em que a construção civil é necessária para o crescimento, ela provoca mudanças prejudiciais ao ecossistema e à própria sociedade, pois a utilização de matéria-prima não renovável gera danos graves não passíveis de reparação. Nesse contexto se inserem os porcelanatos, compostos principalmente de argila com quartzo, os quais são materiais não renováveis. Em sua

¹ Graduando em Engenharia Civil no Centro Universitário UNIFAFIBE. - E-mail: muhesaba@gmail.com

² Professor Mestre no Centro Universitário UNIFAFIBE. E-mail: vinicius.slompo.p@gmail.com

fabricação há liberação de gases causadores do efeito estufa, que favorecem o aquecimento global (OLIVEIRA, 2015).

Uma alternativa para reduzir os impactos ambientais é a substituição dos componentes de argamassas e concreto, tais como: agregados miúdos e agregados graúdos, por materiais reciclados oriundos ou não da construção civil.

As diretrizes do gerenciamento de resíduos da construção civil são feitas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), segundo a Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, que prevê a gestão de resíduos classificando-os em reutilizáveis ou recicláveis. Na classe de resíduos recicláveis estão os agregados recicláveis, de forma que esses agregados recebem essa classificação pois, apresentam propriedades técnicas para a utilização em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia. Nessa classificação, como resíduos recicláveis, se encontra os revestimentos de porcelanato (BRASIL, 2002).

Os revestimentos e pisos cerâmicos são predominantes na área de acabamento no setor da construção civil. Eles apresentam diversas características, tais como: durabilidade, variedade de modelos e usos. Um dos tipos de revestimento cerâmico mais utilizados é o revestimento de porcelanato, devido suas características como beleza e facilidade na limpeza (SILVA et al., 2015)

Um fator importante no consumo de pisos e revestimentos de porcelanato é a geração de resíduos. Segundo Paixão (2011), um dos métodos de descarte utilizado pelas empresas que não possuem gestão de resíduos são aterros e lixões, o que pode acarretar contaminação e degradação do solo. Outro fator importante é a geometria do material, visto que a utilização de peças em grandes formatos se tornou predominante. Dessa maneira, a perda é relativa a essa geometria, pois, se a peça for de grandes dimensões, os recortes e sobras geram mais resíduos (CHRISTMANN; RODRIGUES, 2016).

Desta forma, este trabalho tem por objetivo analisar as características físicas e mecânicas do concreto, tais como, resistência a compressão axial e consistência de concretos com substituição de 15% e 30% dos agregados graúdos naturais por agregados graúdos de resíduos de porcelanato, com análise e classificação granulométrica dos agregados utilizados e dosados pelo método de dosagem ABCP, o qual foi adaptado por Rodrigues (1984) .

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Essa seção tem como objetivo caracterizar e conceituar os materiais utilizados na fabricação de concreto, as propriedades físicas de pisos e revestimentos de porcelanato, seu uso e o destino final de seus resíduos.

2.1 CONCRETOS

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, o concreto é um composto formado por cimento Portland, água, agregados (grãos e miúdos), aditivos e adições, cujo endurecimento é gerado por reações químicas. O concreto possui grande resistência à compressão e baixa resistência à tração.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), as condições físicas e químicas durante a fabricação e cura do concreto determinam as propriedades finais do mesmo. Alguns desses fatores que influenciam as propriedades do concreto podem ser citados, tais como: a relação água/cimento na pasta do concreto fresco, a água de cura que mantém a hidratação do grão, a geometria dos agregados grãos e miúdos, e o uso de adições e aditivos. Todos esses fatores influenciam diretamente na consistência do concreto fresco e altera a resistência final do concreto endurecido.

2.2 CONCRETOS RECICLADOS

Os concretos reciclados são produzidos com substituição parcial ou total de agregados naturais por agregados reciclados. Segundo Leite (2001) é possível fabricar concretos com resíduos de concreto, argamassa, pisos cerâmicos e telhas, e obter uma resistência de compressão superior a 20MPa.

A ABNT NBR 15116:2021 define que somente os agregados reciclados de concreto podem ser utilizados em traços de concretos com função estrutural. Os agregados reciclados devem ser compostos no mínimo de 90% de agregados grãos naturais com argamassa aderida de agregados miúdos e pasta de cimento.

Segundo Souza (2007), concretos do grupo C1, os quais possuem resistência a compressão entre 10MPa e 50MPa, fabricados com a substituição de agregados grãos naturais por agregados grãos de porcelanato com taxas entre 10% e 50% de substituição, obtiveram 40% de aumento de resistência em relação ao concreto

com agregados naturais. O aumento da resistência do concreto foi proporcional à taxa de substituição dos agregados.

Para Dias (2016), a utilização de agregados de porcelanato em concreto do grupo C1 é favorável com substituição em até 25% do agregado graúdo natural, já que em taxas maiores a resistência diminui, a perda de resistência à compressão com 100% de substituição é de 45%.

O Conama (2002) define em suas diretrizes quais os tipos de resíduos da construção civil os quais são permitidos o uso no próprio setor como agregados reciclados. Segundo a resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, os resíduos I - classe A, são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis de:

- Construção e demolição, de pavimentação e de outras obras de infraestrutura.
- Reformas e reparos de edificações: materiais cerâmicos (tijolos, azulejos, blocos, telhas, etc).
- Processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto produzidos nos canteiros de obras.

2.3 CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland é um material aglomerante que promove a ligação entre os agregados gerando uma mistura homogênea. Sua reação química se inicia com a adição de água e se conduz de forma gradativa até o seu endurecimento. Uma de suas principais características é ser resistente à água após endurecido, sendo considerado um cimento hidráulico (DUARTE, 2017).

Segundo Rama (2016), o cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI) tem maior velocidade de suas reações químicas devido a partículas mais finas em sua composição. Ao ser hidratado, apresenta alta resistência em um curto período de tempo. A Tabela 1 define as classificações e resistências dos cimentos Portland.

TABELA 1 – Classificação do cimento Portland

| Tipo | Classe | Resistência (MPa) | | |
|-------------------------|--------|-------------------|---------|---------|
| | | 7 dias | 14 dias | 28 dias |
| CPI, CPII, CPIII e CPIV | 25 | - | - | ≥ 25 |

Fonte: Adaptado de ABNT (2018)

2.4 ÁGUA

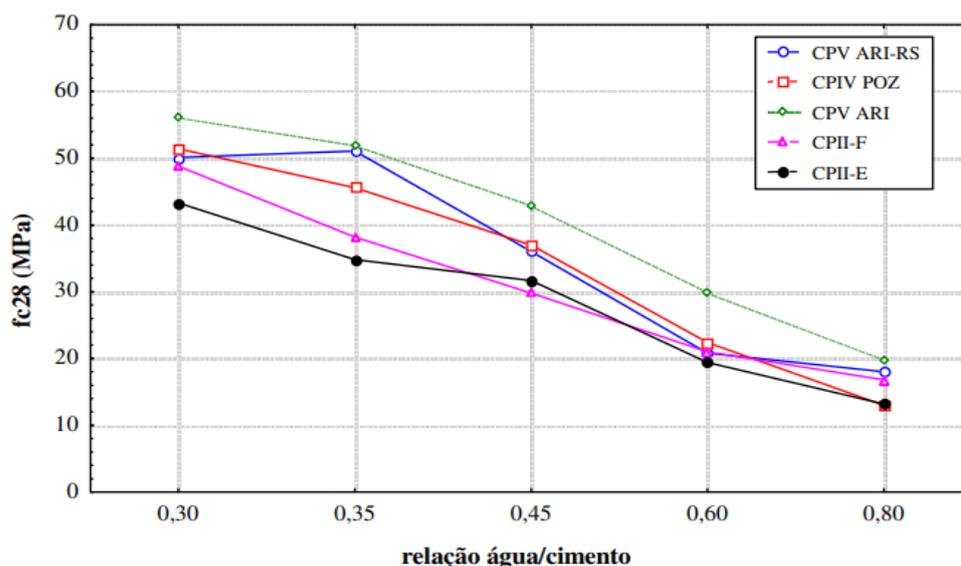
Segundo a ABNT NBR 15900:2009, a água utilizada em concretos deve atender requisitos quanto à alcalinidade, quantidade de cloreto por litro de água, e outras substâncias químicas que possam causar reações de degradação na estrutura, tal como corrosão de armaduras.

Para Mehta e Monteiro (1994), a quantidade de água utilizada para dosagem da pasta de cimento do concreto é um fator determinante, pois gera grande influência no tempo de pega. O tempo de pega pode ser definido como o tempo necessário entre o início das reações que ocorrem com a hidratação do grão de cimento até o momento em que o concreto ganha resistência gradual deixando de ser trabalhável.

Para diferentes usos do concreto, a quantidade de água varia alterando a consistência e trabalhabilidade. Segundo com a ABNT NBR 16889:2020, é necessário realizar ensaios de concreto em estado fresco para análise de consistência, afim de verificar se o concreto está de acordo com o projeto.

A resistência do concreto está diretamente ligada à relação água/cimento. Segundo Helene e Terzian (1993), a relação água/cimento é obtida após ensaios com variadas relações água/cimento. A Figura 1 apresenta as resistências à compressão obtidas no concreto por meio de variadas relações de água e cimento para alguns tipos de cimento Portland.

FIGURA 1 – Relação água/cimento



Fonte: Tessari (2001)

Segundo Assunção (2002), a relação água/cimento é inversamente proporcional à resistência do concreto. Dessa forma, quanto maior a quantidade de água em relação à quantidade de cimento, menor deve ser a resistência à compressão.

Se a quantidade de água de amassamento for adicionada em excesso ocorre, durante o tempo de pega do concreto, perda dessa água por evaporação ou por exsudação, gerando vazios e fissuras. Em consequência desse fato há um aumento de porosidade, fazendo com que o concreto seja mais permeável e suscetível a ataques de agentes agressivos, diminuindo a durabilidade e resistência (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A consistência do concreto, que determina sua trabalhabilidade, é dependente do consumo de água, e deve ser adotado conforme o projeto a ser executado. Para Helene e Terzian (1993), o adensamento deve ser escolhido baseado no tipo de estrutura e taxa de concentração de armaduras. A Tabela 2 relaciona os abatimentos aos elementos estruturais e concentrações de armaduras.

TABELA 2 – Valores de Abatimento do concreto

| Elemento estrutural | Abatimento | |
|---|---------------|---------------|
| | Pouco armada | Muito armada |
| Laje | ≤60 mm ±10 mm | ≤70 mm ±10 mm |
| Viga e Parede armada | ≤60 mm ±10 mm | ≤80 mm ±10 mm |
| Parede de fundação, Sapata, Tubulões | ≤60 mm ±10 mm | ≤70 mm ±10 mm |

Fonte: Helene e Terzian (1993)

Os concretos com resíduos de porcelanato apresentam diferenças no consumo de água no estado fresco em relação a concretos com agregados naturais. Segundo Dias (2016), em concretos utilizando agregados de porcelanato com substituição de até 50%, sem aditivo plastificante, e mantendo o mesmo consumo de água de concretos com agregados naturais, houve reduções nas consistências.

O consumo de água diminui devido à baixa permeabilidade do porcelanato, já que a água que deveria ser absorvida pelo porcelanato permanece na pasta de cimento. Dessa maneira, há aumento na relação água/cimento na região do agregado, o que pode gerar microfissuras nessa região (DIAS 2016).

A água também influencia durante o período de cura do concreto. Segundo Metha e Monteiro (1994), a cura é um procedimento que promove a hidratação da pasta de cimento. Esse processo sofre influência da temperatura, umidade e duração do período de cura. A cura de corpos de prova para controle de resistência deve ser realizada em solução saturada de hidróxido de cálcio ou em câmara úmida, e só devem ser retirados no momento do ensaio de compressão (ABNT, 2015)

2.5 AGREGADOS

Segundo Boaretto (2017), os agregados são substâncias provenientes da degradação das rochas e compõem 80% da mistura de concreto, diminuindo o consumo da pasta de cimento, tornando mais econômica a produção de concreto.

Os agregados aumentam o módulo de elasticidade do concreto, o qual é a relação entre o esforço resistido e a deformação ocorrida na seção, ou seja, os agregados diminuem a deformação do concreto. Porém, essa mudança gera zona de transição, região frágil entre o agregado e a pasta de cimento, diminuindo a resistência do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Dessa maneira, se faz necessário realizar a análise granulométrica dos agregados conforme a ABNT NBR 7211:2009, pois sua geometria influencia na resistência do concreto endurecido. Segundo Rodrigues (1984), se os agregados graúdos são de maiores dimensões, o consumo de agregados miúdos é em menor quantidade, ocorrendo diminuição do consumo de cimento e água. Devido a isso, há diminuição na resistência, pois há maior área de contato entre um único agregado e a pasta de cimento, o que gera microfissuras na interface do agregado e a pasta de cimento, devido a existência de zonas de transição maiores e mais frágeis (NUNES,2005).

O módulo de finura dos agregados é classificado pela ABNT NBR 7211:2009. Módulo de finura determina o quanto as partículas do agregado são finas. Em dosagens de concreto fresco a finura dos agregados é um fator decisivo nos agregados miúdos, pois se o módulo de finura é maior, há maior consumo de água (SOUZA, 2007).

Segundo Fontana e Noni Jr (2015) os resíduos de porcelanato possuem características próximas dos agregados naturais comuns como é o caso agregado graúdo de basalto, o que favorece sua utilização em argamassas e concretos reciclados.

2.6 PISOS E REVESTIMENTOS DE PORCELANATO

Segundo Sanchez et al. (2001), o revestimento de porcelanato é um material com alta resistência, baixa permeabilidade muito utilizado na construção civil, geralmente em áreas molhadas como banheiros e lavadeiras.

Outra característica relevante dos porcelanatos é a sua permeabilidade baixa, que pode variar de 10% para porcelanatos mais porosos e atingir valores menores que 0,5% para porcelanatos com maior densidade (SILVA, 2012).

O uso de pisos e revestimentos de porcelanato apresentam elevadas perdas. A ABNT NBR 9817:1987, que normatiza pisos e revestimentos, recomenda que durante a compra de pisos e revestimentos, sejam adquiridos de 5% a 10% de área a mais do que a necessária calculada, pois durante o assentamento ocorrem perdas devidos a defeitos, cortes e quebras.

Segundo Battistott et al. (2013) uma das causas de perdas de porcelanato é o transporte e o manuseio de pisos e revestimentos de porcelanato, pois, devido aos grandes formatos e espessura, o peso das peças é elevado. Um único pallet de revestimentos de porcelanato pesa em torno de 2 toneladas. Com isso, o transporte manual está sujeito ao aparecimento de peças quebradas, lascadas ou riscadas, tornando o material inutilizável gerando perda e aumento na geração de resíduos.

2.7 MÉTODO DE DOSAGEM ABCP

O método de dosagem denominado ABCP, é um estudo técnico publicado no ano de 1884 por Publio Penna Firme Rodrigues, denominado Parâmetros de Dosagem do Concreto, que representa uma versão adaptada, atualizada, moderna, simples e objetiva do método de dosagem americano do instituto *American Concrete Institute* (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

3 METODOLOGIA

Neste item são apresentados os métodos de análises dos materiais, o método de dosagem de concreto ABCP (1984), ensaio de compressão e determinação das resistências à compressão de concretos.

3.1 MATERIAIS

Para o concreto foi utilizado cimento Portland CPV-ARI da marca Nacional. A Tabela 3 apresenta as características físicas do cimento utilizado segundo o próprio fabricante.

TABELA 3 – Características cimento Portland Nacional (CPV-ARI)

| Material | Massa específica (g/cm³) | Massa unitária (g/cm³) |
|--------------------------|--|--|
| cimento Portland CPV-ARI | 2,99 | 1,20 |

Fonte: Cimento Nacional (2018)

Os agregados naturais utilizados foram areia comum como agregado miúdo e brita basáltica como agregado graúdo. Os agregados reciclados utilizados foram provenientes de sobras de pisos e revestimentos de porcelanato. Os agregados foram ensaiados conforme a ABNT NBR 7211:2009 e ABNT 16972:2021, seus valores estarão no item resultados.

3.2 RESISTÊNCIA DE DOSAGEM

Segundo a ABNT NBR 12655:2022, durante a dosagem do concreto é necessário garantir que 95% de todo concreto fabricado alcance a resistência característica (*f_{ck}*) prevista em projeto. Para que haja segurança, é adotado um desvio padrão sobre a resistência do concreto determinado em projeto. O desvio padrão pode ser classificado considerando o processo da dosagem, a execução do traço, o controle de umidade e inchamento (RODRIGUES, 1984).

O Quadro 1 define os valores de desvio padrão adotado pela ABNT NBR 12655:2022.

QUADRO 1 – Desvio padrão para os tipos de concreto

| Desvio Padrão (s_d) | Condição | Tipo de concreto |
|--------------------------------------|-----------------|--|
| 4,0 | A | Materiais dosados em massa e a água de amassamento é corrigida em função da correção de umidade dos agregados |
| 5,5 | B | Cimento dosado em massa, agregados dosados em massa combinada com volume, a umidade do agregado miúdo é determinada e o volume do agregado miúdo é corrigido através da curva de inchamento. |
| 7,0 | C | Cimento medido em massa, agregados e água em volume, umidade dos agregados estimada. |

Fonte: ABNT (2022)

Segundo ABNT NBR 12655:2022, a resistência de dosagem do concreto para determinação do traço é o f_{cj} , conforme a Equação 1.

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 * S_d \quad (1)$$

Em que:

f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão, em MPa;

f_{cj} é a resistência média do concreto à compressão, prevista para idade de j dias, em MPa;

S_d é o desvio-padrão da dosagem, em MPa.

A resistência definida para o projeto foi de 20MPa, e segundo a ABNT NBR 12655:2022, o desvio padrão adotado foi de 4 MPa, devido ao método de dosagem realizado em massa dos materiais.

3.3 ESCOLHA E DOSAGEM DOS TRAÇOS DE CONCRETO

Para análise experimental foram escolhidos três traços. Um traço controle para referência dos parâmetros e dois traços para análise comparativa de suas resistências, em que:

- T-0 é o traço referência com 100% de Agregados naturais;
- T-15 é o traço experimental com 85% Agregado graúdo natural e 15% de agregado graúdo de porcelanato;
- T-30 é o traço experimental com 70% Agregado graúdo natural e 30% de agregado graúdo de porcelanato;

3.4 MÉTODO DE DOSAGEM ABCP

O método de dosagem de concreto da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), adaptado por Rodrigues (1984), define um método de dosagem para concreto, constituídos de etapas, analisando as propriedades físicas dos materiais e utilizando relações entre os materiais através de tabelas e equações, tais como:

- Classificação dos Materiais: Massa específica, massa unitária, massa unitária compactada, módulo de finura e dimensão máxima dos agregados.
- Consumo de água.
- Consumo de cimento.
- Consumo de agregados graúdos.
- Consumo de agregados miúdos.

3.4.1 Classificação dos materiais

Os agregados foram analisados e classificados conforme as características físicas.

A dimensão máxima e o módulo de finura e curva granulométrica foram classificados conforme a ABNT NBR 7211:2009.

A massa específica, massa unitária e massa unitária compactada foram determinadas conforme a ABNT 16972:2021.

Os dados obtidos de ensaios em laboratório estão descritos no tópico de resultados.

3.2.2 Consumo de Água

Segundo Rodrigues (1984), a determinação do consumo aproximado de água foi obtida pela relação do abatimento do concreto e o diâmetro máximo do agregado graúdo. O abatimento adotado para o projeto foi de 80mm.

A Tabela 4 determina o consumo aproximado de água para 1m³ de concreto.

TABELA 4 -Consumo Aproximado de água (L/m³)

| Abatimento (mm) | Diâmetro Máximo do agregado graúdo (mm) | | | | |
|--------------------|---|-------|-------|-------|-------|
| | 9,5 | 19,00 | 25,00 | 32,00 | 38,00 |
| 40 a 60 | 220 | 195 | 190 | 185 | 180 |
| 60 a 80 | 225 | 200 | 195 | 190 | 185 |
| 80 a 100 | 230 | 205 | 200 | 195 | 190 |

Fonte: Rodrigues (1984)

3.4.3 Consumo de cimento

Para a determinação do consumo de cimento foi utilizada a resistência de dosagem, conforme definido no item 3.2. A relação água/cimento adotada foi de Tessari, 2001.

O consumo de cimento é determinado pelo consumo de água e a relação água/cimento. A Equação 2 define o cálculo do consumo de cimento.

$$C_c = C_a / (a/c) \quad (2)$$

Em que:

C_c é o consumo de cimento (kg/m^3)

C_a é o consumo de água (L/m^3)

a/c é a relação água/cimento

3.4.5 Consumo de Agregados Graúdos

O consumo de agregados graúdos foi determinado através da relação entre a dimensão máxima do agregado graúdo e o módulo de finura (MF) do agregado miúdo. A Tabela 5 define o consumo de agregados graúdos (C_b).

TABELA 5 - Determinação do consumo de agregado graúdo (kg/m^3)

| MF | Dimensão Máxima do Agregado Graúdo (mm) | | | | |
|-----|---|-------|-------|-------|-------|
| | 9,5 | 19 | 25 | 32 | 38 |
| 1,8 | 0,645 | 0,770 | 0,795 | 0,820 | 0,845 |
| 2,0 | 0,625 | 0,750 | 0,775 | 0,800 | 0,825 |
| 2,2 | 0,605 | 0,730 | 0,755 | 0,780 | 0,805 |
| 2,4 | 0,585 | 0,710 | 0,735 | 0,760 | 0,785 |
| 2,6 | 0,565 | 0,690 | 0,715 | 0,740 | 0,765 |
| 2,8 | 0,545 | 0,670 | 0,695 | 0,720 | 0,745 |
| 3,0 | 0,525 | 0,650 | 0,675 | 0,720 | 0,745 |
| 3,2 | 0,505 | 0,630 | 0,655 | 0,680 | 0,705 |
| 3,4 | 0,485 | 0,610 | 0,635 | 0,660 | 0,685 |
| 3,6 | 0,465 | 0,590 | 0,615 | 0,640 | 0,665 |

Fonte: Rodrigues (1984)

3.4.6 Consumo de Agregados miúdos

O consumo de agregados úmidos depende do consumo de cimento, do consumo de agregados graúdos e água. A Equação 3 define o consumo de agregado miúdo do traço de concreto.

$$Vm = 1 - \left(\frac{Cc}{\gamma_c} + \frac{Cb}{\gamma_b} + \frac{Ca}{\gamma_a} \right) \quad (3)$$

Em que:

Vm é o volume de areia em m^3

Cc é o consumo de cimento por m^3

γ_c é a massa específica do cimento (g/cm^3)

Cb é consumo de agregado graúdo por m^3

γ_c é a massa específica do agregado graúdo (g/cm^3)

Ca é o consumo de água por m^3

O consumo do agregado miúdo obtido pela Equação 3 é fornecido em volume, porém a unidade dos demais materiais é fornecida em massa. É necessário alterar a unidade de volume para massa. A Equação 4 determina o consumo em massa do agregado miúdo.

$$Cm = \gamma_m * Vm \quad (4)$$

Em que:

Cm é o consumo de areia (kg/m^3)

γ_m é a massa específica do agregado miúdo (g/cm^3)

Vm é o volume de agregados miúdos (m^3)

Os traços de dosagem do concreto podem ser exibidos em valor unitário. Para isso é necessário aplicar a relação de consumo em massa de cada material pelo consumo em massa do cimento. A Equação 5 define o traço unitário do concreto.

$$\frac{Cc}{Cc} : \frac{Cm}{Cc} : \frac{Ca}{Cc} : \frac{Ca}{Cc} \quad (5)$$

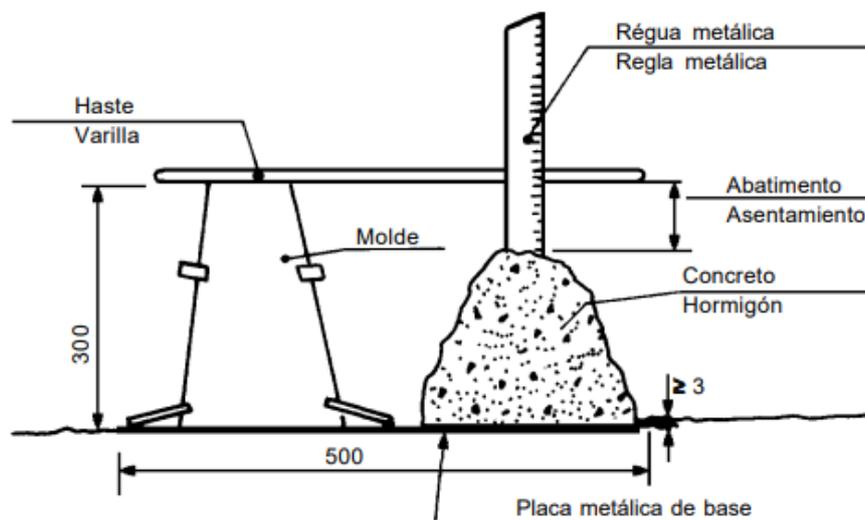
3.5 ENSAIO DE ABATIMENTO E MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

A fabricação do concreto foi realizada com mistura mecânica em betoneira de 150 litros e os materiais foram medidos em massa. Antes da moldagem dos corpos de prova foi necessário verificar a consistência do concreto no estado fresco.

O ensaio de abatimento do tronco de cone foi realizado conforme a ABNT NBR 16889:2020 com um tronco de cone de 300 mm de altura. O concreto foi adicionado em três camadas, de forma que em cada camada foi dado 25 golpes penetrando parcialmente a camada anterior. Após essa etapa, o cone foi retirado verticalmente. A classificação de consistência foi dada pelo abatimento vertical do concreto em relação ao topo do cone (ABNT, 2020).

A figura 1 ilustra como o valor do abatimento é obtido.

Figura 1 – Ensaio de abatimento do tronco de cone



Fonte: ABNT (2020)

A moldagem dos corpos de prova foi realizada conforme a ABNT NBR 5738:2015, que define os critérios dos corpos de prova, tais como dimensões, métodos para moldagem, adensamento e cura.

Os corpos de prova cilíndricos devem atender aos requisitos geométricos. Segundo a ABNT NBR 5738:2015, a altura dos corpos de prova deve ser o dobro do diâmetro de sua base.

No adensamento mecânico do corpo de prova cilíndrico, o concreto é adicionado em camadas, sendo golpeadas com haste de metal. Os números de camadas e golpes foram adotados conforme a Tabela 6.

TABELA 6 – Número de camadas e golpes para moldagem de corpos de prova

| Tipo | Dimensão base corpo de prova (mm) | Abatimento (mm) | Adensamento manual | |
|------------|---|--------------------|----------------------|---------------------|
| | | | Número de camadas | Número de golpes |
| Cilíndrico | 100 | 50 mm a 100 mm | 2 | 15 |
| | 150 | | 3 | 25 |
| | 200 | | 4 | 50 |
| | 250 | | 5 | 75 |
| | 300 | | 6 | 100 |
| | 450 | | - | - |

Fonte: Adaptado de ABNT (2015)

Os corpos de prova utilizados foram de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. O adensamento foi manual com 2 camadas e 12 golpes em cada camada conforme a ABNT NBR 5738:2015, de acordo com o abatimento obtido.

3.6 Ensaio de compressão axial e cálculo da resistência característica

O ensaio de compressão dos corpos de provas cilíndrico foi realizado aos 7 dias em prensa hidráulica. Segundo a ABNT NBR 5739:2018 os rompimentos podem ser realizados após 24 horas, aos 3, 7, 28, 63 e aos 91 dias após a moldagem dos corpos de prova. Os corpos de prova precisam ter suas áreas de contato com a prensa retificadas de modo que toda a superfície esteja em contato.

O cálculo e a determinação da resistência obtida pelo ensaio, foi realizado pelo método de amostragem segundo a ABNT NBR 12665:2015. Para ensaio de resistência característica a compressão ($f_{ck,est}$) é necessário que a amostra tenha no mínimo 6 corpos de prova. Na mesma norma, define-se o método de cálculo da resistência de compressão da amostra. A Equação 6 define o método de cálculo da resistência característica à compressão de amostras de 6 até 20 exemplares de corpos de prova.

$$f_{ck,est} = 2 * \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m \quad (6)$$

Em que:

m é igual a $n/2$. Despreza-se o valor mais alto de n , se for ímpar;

f_1, f_2, \dots, f_m são os valores das resistências dos exemplares, em ordem crescente.

3.7 APROXIMAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA PARA OS 28 DIAS

Os ensaios de compressão devem ser feitos em períodos determinados segundo a ABNT NBR 6118:2014 que ainda fornece método de cálculos para ensaios em período menor que 28 dias de idade do concreto.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, é possível calcular a resistência de cálculo aproximada do concreto em um tempo inferior aos 28 dias. O método é realizado por um coeficiente minerador da resistência como apresentado na Equação 7.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cong \beta_1 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (7)$$

Em que:

f_{cd} é a resistência de cálculo.

f_{ck} é a resistência característica à compressão do concreto (MPa)

γ_c é coeficiente de segurança do concreto

β_1 é um coeficiente descrito pela Equação 8.

$$\beta_1 = \exp \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\} \quad (8)$$

Em que:

$s = 0,38$ para concreto de cimento CPIII e IV;

$s = 0,25$ para concreto de cimento CPI e II;

$s = 0,20$ para concreto de cimento CPV-ARI;

t é a idade efetiva do concreto, expressa em dias.

Fazendo uso da ABNT NBR 6118:2014, foi possível determinar as resistências de compressão aproximadas do concreto para os 28 dias de idade.

4 RESULTADOS

4.1 CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA

Os resultados dos ensaios realizados para determinação de características físicas e granulométricas definidos conforme a ABNT NBR 7211:2009 e ABNT 16972:2021 estão apresentados na Tabela 7.

TABELA 7 – Características granulométricas dos materiais

| Material | Módulo de finura | Diâmetro Máximo (mm) | Massa específica (g/cm³) | Massa unitária (g/cm³) | Massa unitária compactada (g/cm³) |
|-------------------|-------------------------|-----------------------------|--|--|---|
| Areia | 3,34 | - | 2,80 | 1,75 | - |
| Brita | - | 19 | 2,50 | 1,40 | 1,50 |
| Porcelanato moído | - | 19 | 2,30 | 1,10 | - |

Fonte: Autoria Própria

Segundo a ABNT NBR 7211:2009 os agregados miúdos foram classificados como areia grossa e os agregados graúdos naturais e reciclados foram classificados como brita 0.

A granulometria do agregado graúdo de porcelanato foi próxima a do agregado graúdo natural utilizado no experimento, que foi a brita 0. Porém, o porcelanato apresentou menor massa específica, fazendo com que se obtenha um concreto mais leve e mais econômico.

4.2 RESISTÊNCIA DE DOSAGEM

A resistência de dosagem (f_{cj}) para o concreto aos 28 dias foi de 26,6 MPa.

4.3 DOSAGEM ABCP

O consumo de água definido pela Tabela 4 foi de 225 L/m³.

Para a determinação do consumo de cimento foi utilizada a resistência de dosagem de 26,6 MPa. O consumo de cimento foi 346,1 kg/m³ e foi adotada a relação água/cimento de 0,65.

O consumo dos agregados graúdos foi dependente dos traços. A Tabela 8 apresenta o consumo de agregados graúdos naturais, agregados graúdos reciclados e agregados miúdos.

TABELA 8 – Consumo de agregados (kg/m³)

| Tipos de Agregados | Traços | | |
|---|--------|--------|---------|
| | T - I | T - II | T - III |
| Consumo de agregados miúdos (kg/m ³) | 955 | 957,7 | 960 |
| Consumo de agregados graúdos natural (kg/m ³) | 776 | 659 | 543 |
| Consumo de agregados graúdos porcelanato (kg/m ³) | - | 91 | 182 |

Fonte: Autoria Própria

Segundo Rodrigues (1984), obtendo o consumo de todos os materiais em massa e dividindo pelo consumo de cimento, pode-se obter o traço unitário do concreto como apresenta o Quadro 2.

QUADRO 2 – Traço unitário do concreto

| Traço | Cimento | Areia | Brita 0 | Porcelanato | Água |
|-------|---------|-------|---------|-------------|------|
| T-0 | 1 | 2,76 | 2,24 | - | 0,65 |
| T-15 | 1 | 2,77 | 1,90 | 0,26 | 0,65 |
| T-30 | 1 | 2,77 | 1,57 | 0,53 | 0,65 |

Fonte: Autoria Própria

A substituição de agregados gerou redução na massa total do concreto. A Tabela 9 apresenta as massas dos traços de concreto por m³ e a redução de massa dos concretos com adição de porcelanato em relação ao concreto com agregados naturais.

TABELA 9 – Massa do concreto por m³

| | T-0 | T-15 | T-30 |
|--|--------|--------|--------|
| Massa do concreto (kg/m ³) | 2332,1 | 2278,6 | 2256,1 |
| Redução (kg) | - | 53,5 | 76 |
| Redução (%) | - | 2,31 | 3,25 |

Fonte: Autoria Própria

Foi realizado o ensaio de abatimento segundo a ABNT NBR 16889:2020, os resultados são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 – Abatimento do tronco de cone

| | T - I | T - II | T - III |
|------------------------|-------|--------|---------|
| Abatimento obtido (mm) | 82 | 84 | 89 |

Fonte: Autoria Própria

Segundo a Tabela 9, os traços T-15 e T-30, os quais continham porcelanato, apresentaram um aumento no abatimento do concreto. A causa provável desse aumento é a baixa permeabilidade do porcelanato, que absorve menos água que os agregados de basalto.

Outro ponto a ser citado em relação ao aumento da consistência do concreto é a superfície polida do porcelanato que pode gerar menos aderência com a pasta do concreto fresca.

Com o aumento do abatimento, há a possibilidade de aumentar as resistências à compressão diminuindo a relação água/cimento, de forma a obter o mesmo abatimento de concretos com agregados naturais.

4.4 DEFINIÇÃO DAS RESISTÊNCIAS CARACTERÍSTICAS

Os ensaios experimentais realizados com a substituição parcial de agregados graúdos, com classificação granulométrica, dosagem do concreto por meio do método ABCP de Rodrigues (1984), cura úmida e ensaio de compressão aos sete dias para 3 traços de dosagem obtiveram os seguintes resultados, os quais estão apresentados na Tabela 11.

TABELA 11 – Resultados de resistência à compressão aos sete dias

| TRAÇOS | F _{c,7} (MPa) | | | | | |
|--------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | CP1 | CP2 | CP3 | CP4 | CP5 | CP6 |
| T-0 | 21,48 | 24,53 | 24,77 | 26,10 | 27,16 | 27,23 |
| T-15 | 22,63 | 23,04 | 24,37 | 25,25 | 25,47 | 26,78 |
| T-30 | 24,91 | 25,43 | 26,90 | 26,96 | 27,10 | 28,37 |

Fonte: Autoria Própria

A Tabela 12 apresenta as resistências características de compressão obtidas pelo método de amostragem conforme a ABNT NBR 12665:2015.

TABELA 12 – Resultados das resistências características à compressão

| Fck | T-1 | T-2 | T-3 |
|-------------|-------|-------|-------|
| Fck,7 (MPa) | 21,18 | 21,52 | 24,15 |

Fonte: Autoria Própria

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, concretos com função estruturais devem obter resistências de no mínimo 20MPa. A Tabela 12 mostra que todos os concretos produzidos alcançaram a resistência necessária, sendo possível de serem utilizados na produção de concretos com função estrutural.

Ao analisar a tabela 12, os concretos com substituição de agregados naturais por agregados de porcelanato obtiveram aumento em sua resistência à compressão. O aumento de resistência proporcional à taxa de substituição, indica que o uso de porcelanato oferece benefícios a resistência à compressão do concreto. A Tabela 13 apresenta o aumento da resistência característica dos concretos com porcelanato.

TABELA 13 – Comparação das resistências à compressão.

| Fck | T-0 | T-15 | T-30 |
|-------------------|-------|-------|-------|
| Fck,7 (Mpa) | 21,18 | 21,52 | 24,15 |
| Aumento Fck (MPa) | 0 | 0,34 | 2,97 |
| Aumento Fck (%) | 0 | 1,60 | 14 |

Fonte: Autoria Própria

É possível verificar o ganho de resistência do concreto conforme a substituição do agregado varia, T-15 apresentou 1,60% de acréscimo de resistência, T-30 foi de 14%, o que indica que o aumento do abatimento devido à baixa permeabilidade do porcelanato não prejudica a resistência à compressão do concreto.

4.3 PROJEÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AOS 28 DIAS DE IDADE

Utilizando a ABNT NBR 6118:2014 obtiveram-se os resultados das resistências características aproximadas aos 28 dias para os três traços em análise, conforme apresentado na Tabela 14.

TABELA 14 – Projeção das resistências características aos 28 dias de idade

| Fck | T-0 | T-15 | T-30 |
|-----------|-------|-------|-------|
| Fck (Mpa) | 26,47 | 26,90 | 30,19 |

Fonte: Autoria Própria

A resistência de dosagem para os 28 dias de idade para o concreto T-0 foi de 26,6MPa, bem próxima dos resultados obtidos com a projeção das resistências para os 28 dias.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram analisadas as resistências mecânicas de concretos com substituição de agregados naturais por agregados de porcelanato. Os resultados mostraram uma viabilidade para o uso desse tipo de concreto, pois as resistências dos concretos com substituição dos agregados foram maiores que a do concreto com agregados naturais.

Comparando os resultados dos ensaios mecânicos do concreto com agregado natural, os concretos produzidos com substituição dos agregados graúdos naturais por agregados graúdos de porcelanato apresentaram aumento na resistência a compressão simples. Aos 7 dias, os acréscimos de resistência foram de 1,6% para o concreto com 15% de substituição e para o concreto com 30% de substituição o acréscimo foi de 14% em relação ao concreto composto com 100% de agregados naturais. O aumento no abatimento do concreto dos concretos com substituição de agregados não gerou perda de resistência do concreto, dessa forma, há possibilidade de reduzir a relação água/cimento de concretos com adições de porcelanato e alcançar resistências maiores.

Os concretos fabricados com substituições de porcelanato tiveram redução de massa, gerando concretos mais leves, podendo gerar menores esforços devido o próprio do concreto. Esses concretos alcançaram altas resistências, possibilitando o uso em concretos com função estrutural segundo a ABNT NBR 6118:2014 que determina a resistência característica mínima do concreto de 20 MPa.

Com base nos resultados obtidos, os pisos e revestimentos de porcelanato podem ser um objeto de pesquisa para adequação de concretos reciclados, pois eles não afetam negativamente a resistência do concreto e também é um meio de diminuir o descarte desse material.

Em futuros trabalhos, há a possibilidade de análises mais específicas para concretos com adição de porcelanato, diminuindo o consumo de água e a relação água/cimento para atingir resistências maiores, definir consumo de água por m³ em relação para concretos com porcelanatos, e sobre o uso de concretos com resíduos de porcelanato para concretos com fins estruturais.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Bruno Souza Oliveira. **Concreto Armado: Um estudo sobre o processo histórico, características, durabilidade, proteção e recuperação de suas estruturas**. 2016. Monografia apresentada a Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia, do Curso de Especialização em Construção Civil - Ênfase: Tecnologia e produtividade das construções, como requisito final de avaliação para a obtenção do título de especialista - Universidade Federal de Minas Gerais, Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**; Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889**; Concreto - Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco Cone. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9817**; Execução de piso com revestimento cerâmico: Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**; Cimento Portland: Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**; Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**; Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**; Agregados para concreto: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900**; Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9817**; Execução de piso com revestimento cerâmico: Procedimento. Rio de Janeiro, 1987

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**; Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação: Procedimento. Rio de Janeiro, 2022

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**; Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland: Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**; Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021

ASSUNÇÃO, José Wilson., **Curvas de Dosagem Para Concretos Convencionais e Aditivados Confeccionado com Materiais da Região Noroeste do Paraná**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 2002.

BATTISTOTTI, Helena Regina; ARDIGÓ, Carlos Marcelo; CARDOSO, Olga Regina. Revestindo o caminho do Serviço ao cliente por meio da Logística: o caso da Portobello sh. **Alcance**, v.20, n.4 p. 551-566, 2013.

BOARETTO, GABRIEL OTAVIO FIGUEIREDO. **Estudo Comparativo Da Substituição Gradativa De Agregado Graúdo Na Forma Lamelar Pela Forma Cúbica Nas Propriedades Do Concreto** 2017. Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Infraestrutura na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville- Universidade Federal De Santa Catarina, Joinville,2017.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 307, de 5 de julho de 2022. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

CHRISTMANN, Samara Simon; RODRIGUES, Paulo Cesar. **Desperdício de materiais em obras do município de panambi/rs**. In: FÓRUM INTERNACIONAL ECOINOVAR, 5., 2016, Santa Maria. Anais eletrônicos... Rio Grande do Sul: 2016 p. 1-14. Disponível em:
< <https://ecoinovar.com.br/cd2016/arquivos/artigos/ECO1005.pdf>. Acesso em 15 out. 2022

DIAS, Nelson Antônio Santos. **Avaliação da Influência da Adição de Resíduo do Porcelanato nas Propriedades Físicas do Concreto do Grupo I (C20 A C50) Inseridos na Atualização Da NBR 6118/2014**. 2016. Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Civil do CEULP/ULBRA, Palmas, 2016.

DINIZ, José Zamarion Ferreira. **Concreto: material construtivo mais consumido no mundo**. IBRACON, v.37, n.53 p. 8-13, 2009.

DUARTE, AMANDA GERMANO. **Cimento Portland**. 2017. Trabalho acadêmico apresentado para a disciplina de Materiais de Construção ministrada no 4º período do curso de Engenharia Civil como requisito parcial para aprovação – Faculdade Doctum de João Monlevade. Instituto ensinar brasil - Rede Doctum de Ensino, 2017.

FISPQ, Ficha de informações de segurança de produtos. **FISPQ unidade Sete Lagoas**, Cimento Nacional, Sete Lagoas, Minas Gerais, 2018.

FONTANA, Juliano Baesso Bez; JUNIOR, Agenor De Noni. **Estudo do aproveitamento de rejeitos de porcelanato como agregado miúdo em lajotas** 2015. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil - Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2015.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 1993.

LEITE, MÔNICA BATISTA. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001

MEHTA, Paulo Kumar MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, Pini, 1994

MONTEIRO, José Henrique Penido; FIGUEIREDO, Carlos Eugênio Moutinho; MAGALHÃES, Antônio Fernando; MELO, Marco Antônio França de; BRITO, João Carlos Xavier de; ALMEIDA, Tarquínio Prisco Fernandes de; MANSUR, Gilson Leite. **Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. IBAM, Paraná, 2001.

NUNES, Fábio Wendell da Graça. **Resistência e módulo de elasticidade de concretos usados no Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

OLIVEIRA, Antônio Pedro Novaes de. **Tecnologia de fabricação de revestimentos cerâmicos**. UFSC, v.2, n.1 p. 1-49, 2015.

PAIXÃO, Cesar Alexandre Bratti. **Utilização de refugos de revestimentos cerâmicos (porcelanato e azulejo) em substituição à areia em Argamassas cimentícias**. Trabalho desenvolvido no Laboratório de Materiais Cerâmicos e no Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais – PPGE3M, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, Porto Alegre, 2011.

RAMA, Renato Luiz. **Avaliação da Influência da Adição de Resíduo do Porcelanato nas Propriedades Físicas do Concreto do Grupo Ii (C55 A C90) Inseridos na Atualização da Nbr 6118/2014**. 2016. Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Civil do CEULP/ULBRA, Palmas, 2016.

RODRIGUES, Publio Penna Firme. **Parâmetros da dosagem racional do concreto**. In: Reunião de técnicos da indústria do cimento, 34.,1984, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1984.

ROTH, Caroline das Graças; GARCÍAS, Carlos Mello. **Construção Civil e a Degradação Ambiental**. Desenvolvimento em questão, Rio de Janeiro, ano.7, n.13 p. 111-128, jan-jun. 2009.

SANCHEZ, E; ORTS, M.J.; GARCÍA-TEM, J. E CANTAVELLA, V. Efeito Da Composição Das Matérias-Primas Empregadas Na Fabricação De Grês Porcelanato Sobre As Fases Formadas Durante A Queima E As Propriedades Do Produto Final, **Cerâmica Digital**, set, 2001.

SILVA, André Luiz da. **Conformação de porcelanatos de baixa espessura por prensagem e tape casting**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2012.

SILVA, Marinilda Nunes Pereira da; SILVA, Marly Nunes Pereira da; BARRIONUEVO, SERRALVO Bruno de Uzeda; FEITOSA, Igor Marinho; SILVA, Givanildo Santos da. **Cadernos de Graduação: Ciências exatas e tecnológicas**. IBRACON, v.2, n.3 p. 87-97, 2015.

SOUZA, Paulo Alysson Brilhante Faheina de. **Estudo do comportamento plástico, mecânico, microestrutural e térmico do concreto produzido com resíduo de porcelanato**. 2007. Tese (Doutorado em ciência e engenharia de Materiais) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

TESSARI, Ricardo. **Estudo da capacidade de proteção de alguns tipos de cimentos nacionais, em relação à corrosão de armaduras sob a ação de íons Cloreto**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2001.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo; **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland**. Concreto: Ciência e Tecnologia, Ibracon, 2013.