

A ECONOMIA E A REUTILIZAÇÃO DE MATERIAIS EM PEÇAS PRÉ-FABRICADAS COM CIMENTO CPIII COM CURA A VAPOR EM RELAÇÃO AO CPV-ARI

Yghor Augusto da Rocha Ricardo¹; Ranieri Renato Pontin²; Edson Fernando de Oliveira¹; André Henrique Rabbi Tarroni Barbosa¹; Poline Fernandes Fialho³.

1. Acadêmico em engenharia civil na Faculdade Brasileira - multivix-vitória.
2. Acadêmico em engenharia civil na Faculdade Brasileira - multivix-serra.
3. Prof. Msc. Docente na Faculdade Brasileira - multivix-vitória.

RESUMO

Com o crescimento mundial desordenado, surge para a construção civil uma missão: "ser sustentável". Para amenização de tal problemática, temos as estruturas feitas em concreto pré-fabricado. Ou seja, obras feitas com estruturas pré-fabricadas, são rápidas, porém, para uma rápida produção das peças utiliza-se cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV-ARI) com adição de até 5% a mais de matéria prima, gerando um impacto ambiental significativo. O objetivo do estudo é avaliar a eficiência e sustentabilidade de peças de concreto produzidos com cimento Portland de Alto Forno (CPIII) com cura a vapor em relação a peças produzidas com cimento CPV ARI e assim analisar os resultados obtidos. Para tal foram realizados ensaios de resistência à compressão axial aos 1, 3, 7 e 28 dias, além de ensaio de absorção água. Observou-se que o concreto produzido com cimento CPIII com cura a vapor obteve melhor resistência mecânica do que os demais além de uma menor variância e desvio padrão nos resultados obtidos. Concluindo então a viabilidade na produção de peças pré-fabricadas produzidas com cimento CPIII com cura a vapor.

ABSTRACT

With the disordered world growth, it comes to building a mission: "To be sustainable." For ameliorating such problems, we have the structures made of precast concrete. Therefore, works made with prefabricated structures, they are fast, however, for quick production of cement pieces used Portland High Early Strength (Type III) with addition of up to 5% more raw material, generating an impact significant environmental. The objective of the study is to evaluate the efficiency and sustainability of concrete parts produced with Portland-Slag Cement (Type IS) with steam cure compared to parts produced with cement Type III and thus analyze the results. For such assays were performed resistance to axial compression at 1, 3, 7 and 28 days, and the water absorption test. It was observed that the concrete produced with Type IS cement with steam cure had a better mechanical strength than others besides less variance and standard deviation in the results obtained. then completing the feasibility in the production of prefabricated parts produced with Type IS cement with steam cure.

INTRODUÇÃO

A construção civil mantém uma grande importância no desenvolvimento econômico e social do Brasil. Por estar em uma economia emergente, surge um grande desafio para esta importante indústria: gerar obras e projetos sustentáveis. Gasques *et al.* *apud* Agopyan *et al.* (2014) dizem que cerca de 75% de toda matéria prima consumida nos Estados Unidos da América é feita pela construção civil, e que 3% de todo CO₂ produzido no mundo vem da decomposição do cal na produção do clínquer para o Cimento Portland. Araújo *et al.* (2013) nos chama atenção a dizer que o concreto é o material construtivo mais utilizado no mundo. Realmente as grandes obras de engenharia da construção civil alteram a natureza, causando grande impacto local modificando o ambiente. Pensando em criar construções mais sustentáveis surgem os pré-fabricados em concreto, que, segundo a NBR 9062 (ABNT, 2006)

“elemento pré-fabricado é um elemento pré-moldado executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim”, portanto são peças fabricadas com antecedência visando à redução do tempo e recursos, além do menor impacto ambiental.

Na indústria do pré-fabricado o cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV-ARI) é mais utilizado por diminuir o tempo de desforma e assim agilizar a produção, o cimento CPV-ARI é mais adequado para aplicações nas quais os pré-requisitos sejam a alta resistência inicial às primeiras idades (BATTAGIN, 2010). Porém, em sua composição segundo a NBR 5733 (ABNT, 1991), cerca de 95 a 100% do material deste é composto por clínquer mais sulfatos de cálcio, sendo acrescido até 5% de material carbonático. Portanto, é um material que exige grande quantidade de matéria prima em um cenário em que Loques (2013) salienta que a cada 1 tonelada de clínquer produzido é liberado aproximadamente 600 kg de CO₂ para o meio ambiente. Devido a isso, é procurada a utilização de produtos que tenham menos impacto no meio ambiente.

Para tornar a indústria de pré-fabricado ainda mais sustentável, Stein (2014) fomenta que uma combinação da técnica de cura a vapor em peças utilizando Cimento Portland com adição de Escória de Alto Forno (CPIII) pode aumentar sua hidratação e resistência mecânica nas primeiras semanas.

O Cimento Portland CPIII é um cimento composto produzido com adições minerais ao clínquer (Escória) que começou a ser produzido no país em 1952 pela empresa de cimento TUPI S/A no Rio de Janeiro (BATTAGIN, 2010).

Na produção do ferro-gusa produz-se um material excedente que é denominado escória de alto forno, essa escória é muito utilizada em cimento. Em 2013 a produção de escória de alto forno no Brasil foi de 6,54 milhões de toneladas sendo que 90% foram vendidos, e destes 90% cerca de 97% do material vendido foi para a produção de cimento, além de os outros 3% permanecerem na construção civil na produção de outros materiais. Conforme John (1995) o mercado oligopsonio cimenteiro é o principal e único comprador desta escória.

A grande diferença entre os dois cimentos está em sua composição química. O cimento CPIII possui uma quantidade um pouco superior de belita (Ca₂SiO₅) contribuindo pouco para as resistências iniciais, porém bastante importante para o ganho de resistência em idades avançadas, e o cimento CPV há uma quantidade maior de alita (Ca₃SiO₅), o que se explica pelos ganhos iniciais de resistência, pois a alita é a principal responsável pela resistência da pasta de cimento nas idades iniciais (BATTAGIN, 2010).

Para tal problemática surge a opção da utilização da cura a vapor de peças produzidas com cimento CPIII, que nada mais é que um processo um pouco especial de cura úmida, cujo principal objetivo é acelerar o endurecimento do concreto nas primeiras horas, conseguindo assim uma resistência inicial suficiente para desforma da peça o mais rápido possível (ISERHARD, 2000).

Para isso, utiliza-se uma estrutura fechada com circulação de vapor d'água, gerada por uma fonte calorífica. Essa água em vapor entra em contato com a superfície da peça e forma uma fina camada de água evitando assim a perda de água no interior da peça, tendo assim uma estrutura completamente saturada interna e externamente (ISERHARD, 2000).

Diante dessas premissas, torna-se importante um estudo mais aprofundado sobre os benefícios sustentáveis da produção de peças pré-fabricadas de concreto com a utilização de cimento CPIII com cura térmica a vapor em relação ao uso convencional do cimento CPV, com o objetivo de mostrar que a utilização do cimento CPIII com cura térmica a vapor tornar-se-á uma ótima opção em quesitos sustentáveis e econômicos.

MODELO TRADICIONAL DE FABRICAÇÃO DE PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO

Em conformidade com Azeredo (1997), concreto é uma mistura de cimento, água e materiais inertes (agregados) que, empregado em estado plástico, endurece com o passar do tempo devido às reações químicas entre o cimento e a água.

Uma característica do concreto que o diferencia de outros materiais de construção é o aumento progressivo de sua resistência mesmo após seu endurecimento, o que pode ser considerado como uma qualidade própria do concreto.

Para a execução de uma obra, é importante determinar o tipo de concreto a ser empregado, observando sempre a finalidade a que se destina e o custo. Diferentes tipos de obra exigem diferentes tipos de concreto. Assim, para a correta execução, não é suficiente apenas conhecer as características, mas também a qualidade do concreto e dos materiais que o compõe.

Com a mecanização da forma de produzir, surgem na construção civil os primeiros pré-moldados, não se pode dizer uma data inicial para o início desta produção, porém, Vasconcellos (2002) acredita que a primeira construção de pré-fabricados de concreto surgiu na França, em 1981, para fabricação de vigas pré-moldadas para o Cassino de Biarritz, e na primeira metade do século XX começam a surgir obras de pré-fabricados em concreto armado no mundo, principalmente nos Estados Unidos da América e Europa.

Para Serra, Ferreira, Pigozzo (2005), a indústria da construção civil vem evoluindo com o decorrer dos anos, empregando novas técnicas, melhorando e aperfeiçoando a forma de construir e neste mesmo ritmo encontram-se os pré-fabricados em concreto armado. Hoje com o automatismo industrial do sistema pré-fabricado não se restringe apenas à fabricação das peças, mas amplia-se para o controle de qualidade até o seu destino final, além de um aumento significativo de pesquisas na área. Com isso, nos últimos anos temos visto uma evolução da qualidade nos canteiros de obras do Brasil no quesito organização e segurança devido aos controles rigorosos da produção da peça, transporte e montagem com mão-de-obra capacitada para tal.

No modelo tradicional de fabricação de peças pré-moldadas utiliza-se em sua maioria o cimento CPV ARI por ser o mais adequado para aplicações nas quais o pré-requisito é elevada resistência às primeiras idades. Esse pré-requisito é necessário devido à necessidade de rapidez na desforma, visando à reutilização e evitando gastos extras com alugueis de outras formas. Outro fator importante é o içamento, que é a suspensão e movimentação da peça através de pontos de suspensão localizados na peça, momento em que há a atuação de maior esforço localizado na peça.

Surge, então, a possibilidade da utilização de um cimento composto como a possibilidade de superar os desfavores do cimento CPV ARI. Porém segundo Battagin (2010), a utilização do cimento CPIII em peças pré-moldadas deve ser de forma cautelosa por causa da baixa

quantidade de alita e sua menor resistência em idades iniciais, porém recomenda-se nestes casos a utilização da cura térmica a vapor.

CURA A VAPOR DO CONCRETO

A cura do concreto tem como principal função evitar a evaporação da água, que é essencial para a hidratação do cimento. A cura a vapor se destaca nesse meio garantindo a umidade necessária ao concreto e acelera a velocidade de ganho de resistência pelo calor. Iserhard (2000) destaca que a cura a vapor do concreto pode ser considerada como um caso especial de cura úmida com objetivo de acelerar o endurecimento do concreto nas primeiras horas atingindo uma resistência inicial alta, que permita a desforma e o seu manuseio do concreto o mais cedo possível.

De acordo com a ABNT – NBR 9062/2006, o processo de cura térmica com uso de vapor de água possui limitação de temperatura em 70°C, pois pode influenciar negativamente na resistência e causar danos nas peças através da grande perda de águas em altas temperaturas.

Os valores mais frequentes assinalados pela prática estão compreendidos entre 70°C a 90°C (VILAGUT, 1975).

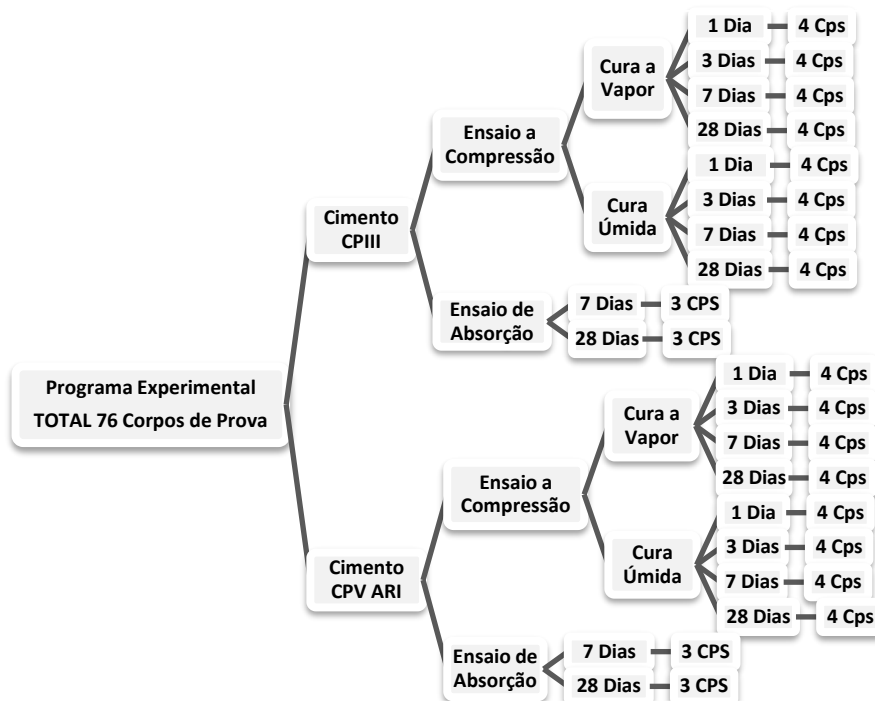
O processo da realização da cura a vapor é subdividido em quatro fases de acordo com Iserhard (2000):

- Fase I - Período de conservação inicial, preliminar ou de pré-tratamento - Devido aos fenômenos físicos, químicos e naturais no concreto na fase plástica, o aquecimento deve ser evitado para que as reações ocorram de maneira natural evitando o desequilíbrio na formação da peça e a formação de vazios.
- Fase II - Elevação da temperatura ou aumento da velocidade de aquecimento - Nessa fase são importantes os gradientes térmicos originados pela diferença de temperaturas entre o interior do concreto e o seu ambiente circundante, sendo necessário um rigoroso controle de temperatura a fim de evitar microfissuras no concreto.
- Fase III - Fase isotérmica: A Temperatura máxima deve permanecer constante nessa fase, assim como seu período de duração. Esses fatores conjugados contribuem para atingir a resistência pré-determinada para o concreto.
- Fase IV - Diminuição da temperatura. (Resfriamento) – Nessa fase retira-se o agente calorífico da câmara, ocasionando uma diminuição da temperatura em seu interior, produzindo assim um gradiente térmico no concreto devido as diferentes temperaturas entre o interior do concreto e a sua superfície. Essa velocidade de resfriamento deve ser lenta e gradual, contribuindo positivamente no final do período de tratamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais constituintes do concreto foram caracterizados segundo as normas ABNT assim como os concretos utilizados pela empresa X.

Segue fluxograma dos experimentos.



Fonte: Autores, 2016.

Cimento CPMIII

O cimento CP III utilizado na pesquisa com fabricação em 27/02/2016, e teve todos seus ensaios cedidos pelo fabricante e estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 – Caracterização do Cimento CPMIII.

| Ensaio Físicos | | | | Limites NBR 5735/5737 | Análise Química (%) | | | Limites NBR 5735/5737 |
|---------------------------------------|-------|------------|-------------|-----------------------|--------------------------------|---------------|-------|-----------------------|
| | Média | Desv. Pad. | Nº Amostras | - | PF 1000 °C | NBR NM 18 | 3,79 | ≤ 4,5 |
| # 400 (%) IT Holcim | 5 | 0,47 | 8 | - | SiO ₂ | NBR 14656 | 19,14 | - |
| Blaine (cm ² /g) NBR 16372 | 4228 | 136 | 8 | - | R.I | NBR NM 15 | 0,9 | ≤ 1,5 |
| Início Pega (min) NBR NM 65 | 157 | 7 | 8 | ≥ 60,0 | Al ₂ O ₃ | NBR 14656 | 4,87 | - |
| Fim Pega (min) NBR NM 65 | 196 | 6 | 8 | ≤ 720,0 | Fe ₂ O ₃ | NBR 14656 | 3,05 | - |
| Exp. Quente (mm) NBR 11582 | - | - | - | ≤ 5,0 | CaO | NBR 14656 | 63,34 | - |
| R 1 dia (MPa) NBR 7215 | 12,6 | 0,52 | 8 | ≥ 12,0 | MgO | NBR 14656 | 0,72 | - |
| R 3 dia (MPa) NBR 7216 | 24,9 | 0,89 | 7 | ≥ 23,0 | SO ₃ | NBR 14656 | 3,01 | ≤ 4,0 |
| R 7 dia (MPa) NBR 7217 | 34,1 | 1,92 | 7 | ≥ 40,0 | CO ₂ | NBR NM 20 | 2,7 | ≤ 3,0 |
| R 28 dia (MPa) NBR 7218 | - | - | - | - | K ₂ O | NBR 14656 | 0,79 | - |
| Período: 26.03.2016 - 19.04.2016 | | | | | PF 500°C | IT Holcim | 0,83 | - |
| | | | | | C3A (Teórico) | Equação Bogue | 7,12 | - |

Fonte: Cortesia de Cimentos Holcim, 2016.

Cimento CPV ARI

O cimento CPV ARI utilizado na pesquisa com fabricação em 23/02/2016, e teve todos seus ensaios cedidos pelo fabricante e estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 – Caracterização do Cimento CPV ARI.

| Ensaio Físicos | | | | Limites NBR 5733 | Análise Química (%) | | | Limites NBR 5733 |
|--|-------|------------|-------------|---------------------|--------------------------------|---------------|-------|---------------------|
| | Média | Desv. Pad. | Nº Amostras | - | PF 1000 °C | NBR NM 18 | 3,33 | ≤ 4,5 |
| # 400 (%) IT Holcim | 2,2 | 0,35 | 8 | - | SiO ₂ | NBR 14656 | 19,25 | - |
| Blaine (cm ² /g) NBR 16372 | 4702 | 65 | 8 | ≥ 3000 | R.I | NBR NM 15 | 0,8 | ≤ 1,0 |
| Início Pega (min) NBR NM 65 | 119 | 11 | 8 | ≥ 60,0 | Al ₂ O ₃ | NBR 14656 | 4,89 | - |
| Fim Pega (min) NBR NM 65 | 173 | 10 | 8 | ≤ 600,0 | Fe ₂ O ₃ | NBR 14656 | 2,92 | - |
| Exp. Quente (mm) NBR 11582 | - | - | - | ≤ 5,0 | CaO | NBR 14656 | 63,84 | - |
| R 1 dia (MPa) NBR 7215 | 29,6 | 1,41 | 7 | ≥ 14,0 | MgO | NBR 14656 | 0,74 | - |
| R 3 dia (MPa) NBR 7216 | 42,5 | 1,46 | 7 | ≥ 24,0 | SO ₃ | NBR 14656 | 3 | ≤ 4,5 |
| R 7 dia (MPa) NBR 7217 | 46,7 | 1,16 | 5 | ≥ 34,0 | CO ₂ | NBR NM 20 | 2,33 | ≤ 3,0 |
| R 28 dia (MPa) NBR 7218 | - | - | - | - | K ₂ O | NBR 14656 | 0,79 | - |
| Período: 21.02.2016 - 16.03.2016 | | | | | PF 500°C | IT Holcim | 0,8 | - |
| | | | | | C ₃ A (Teórico) | Equação Bogue | 7,72 | - |

Fonte: Cortesia de Cimentos Holcim, 2016.

Agregado Miúdo

A areia natural utilizada se trata de uma areia média, de cor amarela e foi extraída do Rio Itapemirim, Itapemirim/ES, Brasil. Na Tabela 3 estão expostas as características físicas do agregado miúdo que será utilizado na produção dos concretos.

TABELA 3 – Caracterização do agregado miúdo utilizado na produção dos CPs.

| Ensaio | Massa Específica Real (g/cm ³) | Massa Unitária Seca (kg/dm ³) | Massa Unitária Úmida (kg/dm ³) U (%) = 3,8 | Teor de Torrões de Argila | Materiais Pulverulentos | Impurezas Orgânicas (%) | Absorção (%) |
|---------|--|---|---|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------|
| Amostra | 2,612 | - | - | 0,29 | - | - | 0,76 |
| Norma | NM 52/53 | NBR 7251 | NBR 7251 | NM44 | NM46 | NM49 | NM30 |

Agregado Graúdo

A brita utilizada para a produção dos corpos de prova é proveniente da pedreira Tervap Pitanga Mineração e Pavimentação Ltda, localizado em Serra-ES. Na Tabela 4 estão apresentadas as principais características do agregado graúdo analisado.

Tabela 4 – Caracterização do agregado graúdo utilizado na produção dos CPs

| CARACTERÍSTICA ANALISADA | RESULTADO | UNIDADE | MÉTODO DE ENSAIO |
|--------------------------|-----------|--------------------|------------------|
| Massa específica | 2,77 | Kg/dm ³ | NBR 6458 |
| Massa unitária | 1,37 | Kg/dm ³ | NBR 7251 |
| Índice de vazios | 50 | % | NBR NM 45 |

| | | | |
|--------------------------------|------|----|-----------|
| Módulo de finura | 6,98 | - | NBR 7217 |
| Dimensão máxima característica | 19 | mm | NBR 7217 |
| Absorção de água | 0 | % | ASTM C128 |

Foram utilizados materiais cedidos pela própria empresa X para fazer o concreto.

Determinação do traço do concreto

O traço em massa de referência utilizado de cimento, areia, brita, água/cimento e aditivo respectivamente foi (1: 3,41: 1,55: 0,35: 0,03) e foi baseado em cálculos da própria empresa com objetivo da racionalização de materiais e trabalhabilidade do concreto.

Tendo em vista a baixa trabalhabilidade do concreto com a utilização da relação água/cimento 0,35 utilizou-se um aditivo super plastificante calculado em relação à massa do cimento.

A partir deste traço foram feitos apenas as substituições de concreto produzido com cimento CPV ARI e CPIII, não foram alterados nenhum outro fator (como por exemplo, água/cimento).

Tabela 5 – Definição dos traços dos concretos

| COMPOSIÇÃO | CIMENTO | AREIA | BRITA | A/C | ADITIVO |
|-------------------|---------|-------|-------|------|---------|
| TR ⁽¹⁾ | 1 | 3,41 | 1,55 | 0,35 | 0,03 |

NOTA: (1) TR – Traço referência.

Produção dos concretos

Para a mistura dos materiais foi utilizado a central de concreto da empresa X com balança de precisão e pesagem de materiais e o processo deu-se da seguinte forma: Brita cimento após a homogeneização colocou-se água, areia e aditivo.

Moldagem dos Corpos-de-prova

Os corpos-de-prova de especificação 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, nos quais foi utilizado óleo mineral nas formas e a moldagem foi conforme determina a NBR 5738 (ABNT, 2015).

Cura e Rompimento

Os corpos de provas foram subdivididos em grupos de rompimento de 1, 3, 7 e 28 dias, depois submetidos metade à cura a vapor por 5 horas à temperatura média de 70°C e a outra metade a cura submersa, para concretos feitos por CPV ARI e CPIII. O rompimento ocorreu por prensa hidráulica e para regularização das bases foi utilizada borracha de neoprene.

Ensaio de Absorção de água

Foram realizadas em ambas as amostras ensaio de absorção de água conforme estabelece a NBR 9778 (ABNT, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resistência à compressão axial

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência a compressão axial aos 1, 3, 7, 28 dias, estão na Tabela 6.

Concreto com Cimento CPIII:

Após a concretagem dos CPs foram feitos os ensaios com os resultados a seguir.

Tabela 6 – Ensaio de resistência a compressão axial aos 1, 3, 7, 28 dias cimento CPIII.

| CP III | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------------------------------|--------|--------|---------|-----------------------------|--------|--------|---------|---------------|--------|--------|---------|
| | Resistencia à compressão axial (MPa) | | | | Coeficiente de variação (%) | | | | Desvio Padrão | | | |
| | 1 Dia | 3 Dias | 7 Dias | 28 Dias | 1 Dia | 3 Dias | 7 Dias | 28 Dias | 1 Dia | 3 Dias | 7 Dias | 28 Dias |
| Cura Submersa | 4,96 | 15,81 | 23,69 | 30,37 | 0,13 | 0,09 | 0,05 | 0,13 | 0,63 | 1,44 | 1,29 | 3,81 |
| Cura à Vapor | 31,37 | 33,27 | 36,13 | 42,43 | 0,09 | 0,02 | 0,06 | 0,03 | 2,7 | 0,75 | 2,14 | 1,25 |

Fonte: Autores, 2016.

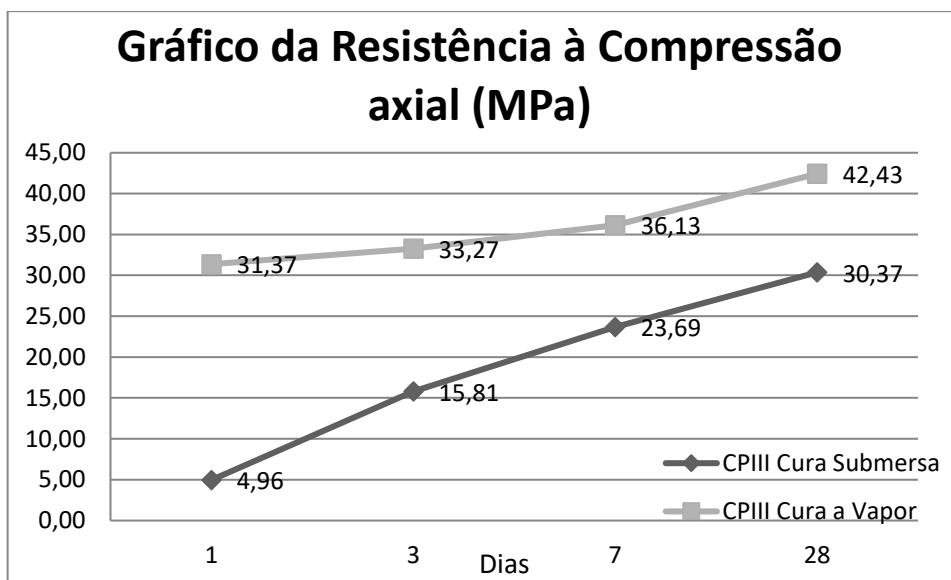


Gráfico 1 – Resistência à compressão axial. Fonte: Autores, 2016.

Após análise dos resultados obtidos, observou-se um ganho de resistência consideravelmente alto quando utilizada a cura a vapor no cimento CP III, ao 1º dia chegando a uma resistência 31,37 MPa, 6,5 vezes maior em relação a cura submersa que alcançou 4,96 MPa, já aos 28 dias chegando a 42,43 MPa (40% a mais que quando em cura submersa), mostrando assim

que cura a vapor foi extremamente eficaz nas peças de concreto acelerando a velocidade de ganho de resistência, o que permite sua desforma e manuseio rapidamente. Verifica-se nos ensaios de resistência à compressão axial que os concretos produzidos através de cimento CPIII, quando submetidos à cura a vapor, mostraram uma curva de crescimento de resistência elevada em relação à anterior, que foi submetida à cura submersa. Assim, o concreto produzido com cimento CPIII curado a vapor obteve o melhor resultado em todos os dias.

Concreto com Cimento CPV ARI:

Tabela 7 – Ensaio de resistência a compressão axial aos 1, 3, 7, 28 dias cimento CPV ARI.

| CP V ARI | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------------------------------|--------|--------|---------|-----------------------------|--------|--------|---------|---------------|--------|--------|---------|------|
| | Resistencia à compressão axial (MPa) | | | | Coeficiente de variação (%) | | | | Desvio Padrão | | | | |
| | 1 Dia | 3 Dias | 7 Dias | 28 Dias | 1 Dia | 3 Dias | 7 Dias | 28 Dias | 1 Dia | 3 Dias | 7 Dias | 28 Dias | |
| Cura Submersa | 19,3 | 20,5 | 36,5 | 38,05 | 0,1 | 0,09 | 0,09 | 0,15 | 1,8 | 8 | 1,85 | 3,15 | 5,65 |
| Cura à Vapor | 21,8 | 31,0 | 34,5 | 39,13 | 0,0 | 0,10 | 0,08 | 0,13 | 1,8 | 7 | 3,00 | 2,59 | 5,15 |

Fonte: Autores, 2016.

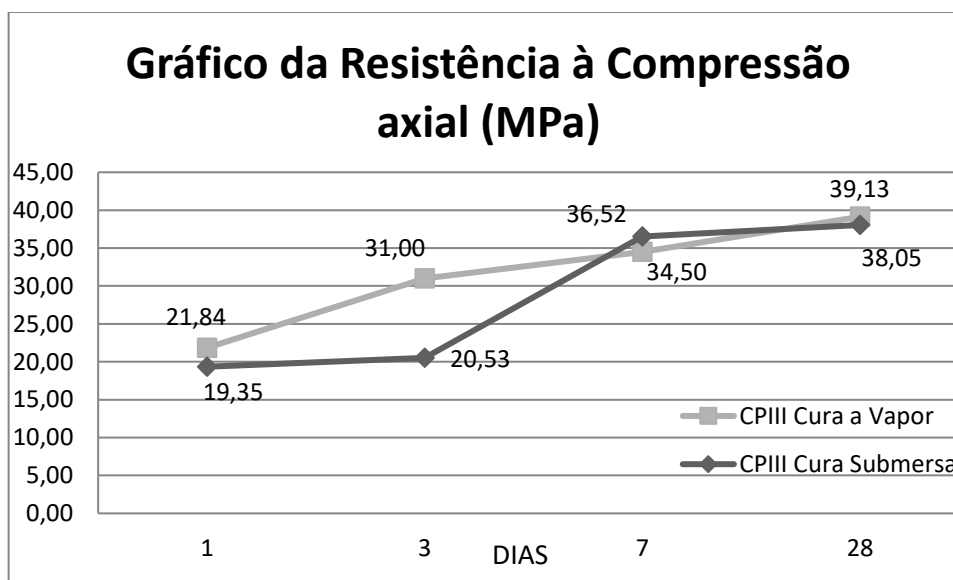


Gráfico 2 – Resistência à compressão axial. Fonte: Autores, 2016.

No ensaio utilizando o CPV ARI, pode-se observar que o ganho de resistência à compressão axial quando submetido à cura a vapor não foi muito expressivo como no CP III, mesmo este cimento apresentando uma alta quantidade de alita em sua composição. Vale frisar que no ensaio realizado ao 7º dia, a resistência a compressão axial obtida com a cura a vapor (34,50 MPa) foi inferior à obtida com a cura submersa (36,52MPa). No gráfico do ensaio o cimento CPIII mostrou uma curva de crescimento de resistência com menor variância e desvio padrão em relação à curva de crescimento de resistência do cimento CPV ARI, o que é explicado

pela utilização do mesmo traço para ambos os concretos e a mesma quantidade de água para o amassamento. Vale ressaltar que o CPV ARI necessita de mais água para o seu amassamento, o que prejudicou um pouco sua trabalhabilidade e suas reações.

Ensaio de absorção de água no concreto:

Tabela 7 – Ensaio de absorção de água.

| ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA | | |
|-----------------------------------|----------------|--------------|
| | CPV ARI | CPIII |
| CURA SUBMERSA | 4,86% | 6,10% |
| CURA À VAPOR | 4,66% | 6,22% |

Fonte: Autores, 2016.

Sobre o ensaio de absorção de água pelo concreto nota-se que o melhor desempenho ficou com os concretos com CPV, o que se explica pela finura do cimento CPV, conforme NBR 5733, ser maior do que a do cimento CPIII, produzindo um concreto menos poroso, que é uma característica diretamente ligada à absorção de água, que também está diretamente ligada à resistência do concreto (TENÓRIO, 2007). E de acordo com o critério de absorção de Helene a qualidade de ambos os concretos é considerada média (REBMANN *apud* Helene, 2011).

| Qualidade do Concreto | Absorção |
|------------------------------|-----------------|
| | Helene |
| Boa | < 4,2% |
| Média | 4,2 a 6,3% |
| Pobre | >6,3 |

Fonte: Autores, 2016.

CONCLUSÕES

Após a realização de todos os ensaios, notou-se melhor desempenho de resistência à compressão axial do concreto com cimento CPIII, com cura a vapor no primeiro dia 6,5 vezes maior do que em cura submersa, 40% maior do que o com cura submersa aos 28 dias e 8,5% maior do que o concreto produzido com cimento CPV ARI com cura a vapor aos 28 dias; além das diversas vantagens de seu uso, como, por exemplo, menor quantidade de água de amassamento, maior resistência aos sulfatos e maior resistência em idades avançadas devido a altas quantidades de belita em sua composição. No ensaio de absorção de água o concreto de cimento CPV ARI submetido à cura a vapor obteve o melhor resultado em relação aos outros, comprovando-se que a utilização deste concreto com o cimento CPIII atende os requisitos de resistência necessária para desforma com 1 dia. Todavia, é válido dizer que existem alguns ensaios não realizados neste presente estudo que podem comprovar ainda mais a viabilidade da utilização de concretos produzidos com cimento CPIII com cura a vapor em relação ao usual concreto com cimento CPV ARI.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, V. R. Bonfim Sampaio et al. **ESTUDO DE PROSPECÇÃO DO CONCRETO**. Bahia: 2013. Disponível em: < <http://www.portalseer.ufba.br/index.php/nit/article/view/11405/8232> >.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O Edifício Até sua Cobertura**. São Paulo. Ed. Edgar Blucher Ltda, 1977.

GASQUES, Ana Carla F. *et al.* **IMPACTOS AMBIENTAIS DOS MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: BREVE REVISÃO TEÓRICA**. Revista Produção on-line. [on-line]. Edição 23, Paraná: REVISTA TECNOLÓGICA MARINGÁ, 2014. Disponível na internet: < <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/issue/view/890> > ISSN 2447-2476.

BATTAGIN, A. F. Cimento Portland. In: ISAIA (IBRACON). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: G.C. Isaia, 2010.

ISERHARD, José Luís Rodrigues de Freitas. **Contribuição ao estudo da viabilidade da cura do concreto por energia solar**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

JOHN, Vanderley M. **Cimentos de escória ativada com silicatos de sódio**. 1995. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

JOHN, V. M. et al. Durabilidade e Sustentabilidade: desafios para a construção civil brasileira. In: **WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES**. 2001.

LOQUES, Rafael. **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA SIMPLIFICADA DO CIMENTO PORTLAND**. Rio de Janeiro: 2013. Disponível em < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007774.pdf> > Acesso em: 07 de Jun. 2016.

SERRA, Sheyla Mara Baptista; FERREIRA, Marcelo de Andrade; PIGOZZO, Bruno Nogueira. **Evolução dos Pré-fabricados de Concreto**. São Paulo: 2005. Disponível em: < http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/164.pdf > Acesso em: 07 de Jun. 2016.

STEIN, Maicon Guilherme. **Influência da Cura Térmica a Vapor no Concreto**. Rio Grande do Sul: 2014. Disponível em: < <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/582/1/2014MaiconGuilhermeStein.pdf> > Acesso em: 07 de Jun. 2016.

TENÓRIO, Jonathas Judá Lima et al. Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais. 2007.

VASCONCELLOS, Augusto Carlos. **O Concreto no Brasil: Pré-Fabricação – Monumentos - Fundações**. São Paulo: Studio Nobel, 2002.

VILAGUT, F. **Prefabricados de hormigón. Barcelona**. 1975. Ed. Gustavo Gili S.A.