

# ESTUDO EXPERIMENTAL: COMPARANDO AS PROPRIEDADES E A VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE CONCRETOS CONVENCIONAIS UTILIZADOS EM PATOS DE MINAS E CONCRETOS DE ALTO DESEMPENHO.

*Gean Fernandes da Silva<sup>1</sup>*

## RESUMO

O presente trabalho visa avaliar experimentalmente a performance do concreto de alto desempenho, estudando suas propriedades mecânicas como resistência a compressão e deformação, além de avaliar seu custo benefício, comparando esses parâmetros com um concreto comumente utilizado. Sendo assim, foram feitos 8 corpos de prova de concreto com 4 traços diferentes: 3 classificados como concreto de alto desempenho e 1 como concreto convencional. Após moldados, com idades de 14, 21,24 e 28 dias, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão. Após a obtenção dos resultados, uma cotação foi feita para se obter o custo por metro cúbico de cada tipo de concreto e posteriormente realizou-se uma comparação entre propriedades mecânicas e custos de ambos. Os resultados obtidos enfatizaram as vantagens do concreto de alto desempenho quando comparado com o concreto convencional. Entretanto, o custo benefício para o mesmo se mostrou muito superior, o que torna seu uso limitado.

**Palavras-chave:** Concreto de alto desempenho, propriedades, custo, benefício.

## ABSTRACT

**Experimental study:** Comparison of the properties and economic viability between conventional concretes used in Patos de Minas and high performance concretes.

The present work aims to evaluate experimental performance of the high performance concrete, studying its mechanical properties such as compression and deformation resistance, and assessing its cost benefit, by compared these parameters with a common concrete Used. Thus, 8 concrete proof bodies were made with 4 different strokes: 3 classified as high-performance concrete and 1 as conventional concrete. After moulded, aged 14, 21.24 and 28 days, the test bodies were subjected to the compression test. After obtaining the results, a quotation was made to obtain the cost for one cubic metre of each type of concrete and subsequently a comparison of mechanical properties and costs of both. The results obtained emphasized the advantages of high performance concrete when compared to conventional concrete. However, the cost benefit for the same has proved superior, which makes its use limited.

**Key words:** High-performance concrete, properties, cost, benefit.

## INTRODUÇÃO

O concreto é o material de construção mais utilizado pelo homem, principalmente quando combinado com aço, formando o concreto armado. Porém cada vez mais exige-se deste material. Visando maior resistência, entre outras propriedades, como por exemplo a trabalhabilidade, foram desenvolvidas misturas especiais com propriedades superiores ao concreto convencional.

O concreto de alto desempenho (CAD) é um material que apresenta propriedades superiores ao concreto convencional. Entende-se por desempenho não apenas a resistência mecânica, mas também a trabalhabilidade, a estética, o acabamento, a integridade, e, principalmente a durabilidade. A definição de concreto de alto desempenho abrange todas as propriedades do concreto de modo holístico, focando no resultado final o máximo desempenho possível.

O concreto de alto desempenho deve apresentar, simultaneamente, alta trabalhabilidade, alta resistência, e alta durabilidade. Para efeitos práticos, grande parte da literatura adota como parâmetro definidor a relação água/cimento (fator a/c) inferior a 0,4.

As áreas onde o CAD tem maior aplicação tem sido em áreas de edifícios altos. O motivo se deve ao fato de que com esse concreto é possível a redução das dimensões dos pilares, aumentando então, a área de utilização do edifício. Além disso, sua utilização permite reduzir a carga da estrutura e também uma maior durabilidade da estrutura.

A utilização do CAD é realizada cada vez mais em obras no Brasil e no mundo, apesar de que o volume deste concreto ainda é pequeno, se comparado com as aplicações do concreto convencional.

As cidades brasileiras que mais se destacam nessa tecnologia são São Paulo, Goiás, Curitiba e Salvador, mas encontram-se aplicações isoladas em outras regiões do País.

## OBJETIVO GERAL

Realizar estudos sobre as propriedades mecânicas do concreto de alto desempenho comparando-o ao concreto convencional.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Comparar o fck do concreto de alto desempenho com o concreto convencional;

Determinar o módulo de elasticidade dos concretos, afim de aprimorar estudos sobre as deformações de ambos;

Comparar os benefícios da utilização do concreto de alto desempenho, analisando o custo do metro cúbico em relação ao concreto convencional.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para o concreto convencional, foram moldados 8 corpos de prova regidos pela ABNT NBR 5739. Com idade de 7, 14, 21 e 28 dias, foram realizados ensaios de compressão para definição do fck. O mesmo procedimento acima descrito foi feito para o concreto de alto desempenho. Afim de se obter melhores resultados foram moldados 8 corpos de provas para 3 traços de concreto diferentes.

O desenvolvimento do estudo foi realizado no Laboratório de Tecnológicas de Materiais de construção no Centro Universitário de Patos de Minas. O trabalho foi dividido em 4 etapas: definição dos traços, produção e preparo das amostras, ensaio de compressão e ensaio do módulo de elasticidade.

## TRAÇOS UTILIZADOS

**TABELA I – TRAÇO CONCRETO CONVENCIONAL**

Material	Traço	Massa (kg)
Cimento CP III	1	5,27
Areia	1,50	7,90
Brita 0	1,25	6,87
Brita 1	1,25	6,87
Água	0,50	2,75

**TABELA II – CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO – TRAÇO 1**

Material	Traço	Massa (kg)
Cimento CP V	1	7,88
Areia de quartzo	0,88	6,93
Brita 0	0,825	6,5
Brita 1	0,825	6,5
Sílica ativa	0,150	1,18
Água	0,400	3,15

**TABELA III – CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO – TRAÇO 2**

Material	Traço	Massa (kg)
Graute	1	5,27
Areia	1,50	7,90
Brita 0	2,50	13,75
Água	0,50	2,75

**TABELA IV – CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO – TRAÇO 3**

Material	Traço	Massa (kg)
Cimento CP V	1	0,993
Areia de quartzo	1,10	1,092
Sílica ativa	0,25	0,248
Aditivo superplastificante	0,016	0,0158
Água	0,25	0,248

### Produção e preparo dos corpos de prova

A mistura do concreto convencional, do concreto de alto desempenho 1 e do concreto de alto desempenho 2 foram realizadas em betoneira. Já a mistura do concreto de alto desempenho 3 foi realizada em uma argamassadeira pois a relação de água/cimento era muito baixa, o que dificultou a sua produção em betoneira.

Os corpos de prova foram moldados em formas cilíndricas de diâmetro de 100 mm e altura de 200 mm de acordo com a ABNT NBR 5738:2015. O adensamento foi feito de forma manual. Após a moldagem os corpos de prova ficaram no laboratório durante 24 horas. Após as 24 horas os corpos de prova foram retirados das formas e colocados dentro de um recipiente com água, para um melhor processo de cura do mesmo.

### Ensaio de compressão

A execução desse ensaio obedeceu às prescrições da ABNT NBR 5739/2007. Os corpos de prova foram colocados de forma centralizada na prensa hidráulica. A carga de ensaio foi aplicada continuamente até a ruptura. A resistência à compressão foi obtida, dividindo-se a carga da ruptura pela área da seção do corpo de prova.

### Ensaio do módulo de elasticidade

Para realização deste ensaio, 3 corpos de prova com o mesmo traço foram sujeito ao ensaio de compressão, determinando assim o  $f_{ck}$  máximo de cada um.

Posteriormente uma média dos fck's entre os mesmos foi feita. Tido este valor realizou novamente o ensaio em outro corpo de prova de mesmo traço, aplicando 40% do fck encontrado nos outros. Assim foi determinado o módulo de elasticidade de acordo com a ABNT NBR 8522.

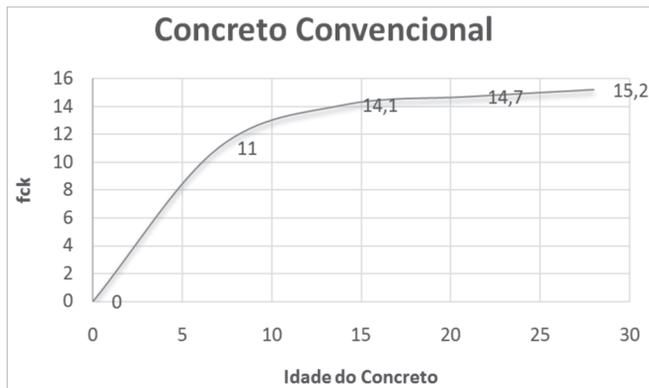
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio de compressão.

As tabelas e gráficos a seguir mostram o resumo dos resultados obtidos no ensaio de compressão.

**TABELA V – fck CONCRETO CONVENCIONAL.**

CP	Tempo de cura (dias)	Média força (KN)	Média fck (MPa)
01	7	86,76	11,00
02	14	110,62	14,10
03	21	115,65	14,70
04	28	119,40	15,20

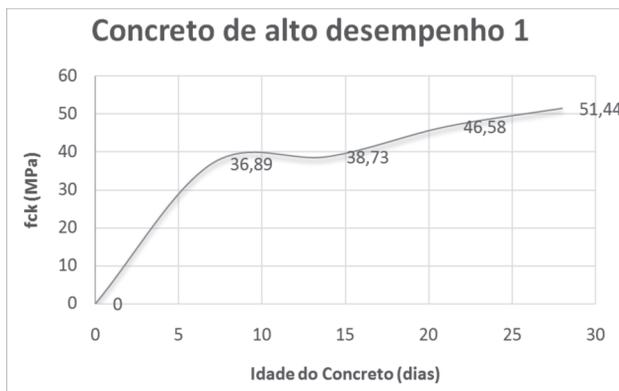


**FIGURA I – GRÁFICO Fck X IDADE DO CONCRETO CONVENCIONAL**

Através da tabela V e da figura I, podemos observar que a resistência do concreto convencional na idade de 28 dias foi de 15,2 MPa.

**TABELA VI** –fck CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO - TRAÇO 1

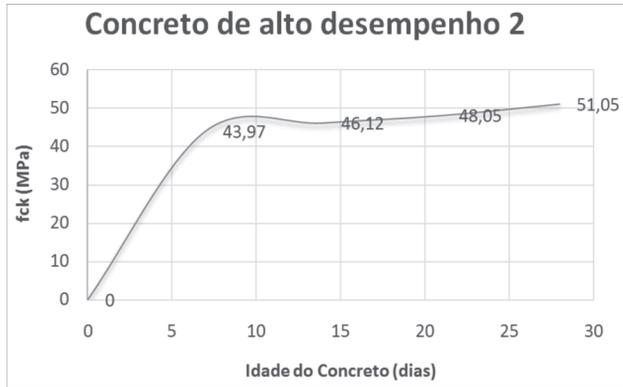
CP	Tempo de cura (dias)	Média força (KN)	Média fck (MPa)
01	7	289,69	36,89
02	14	304,18	38,73
03	21	365,80	46,58
04	28	403,98	51,44

**FIGURA II**– GRÁFICO fck X IDADE DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO - TRAÇO 1

Através da tabela VI e da figura II, podemos observar que a resistência do concreto de alto desempenho com o traço 1 na idade de 28 dias foi de 51,44 MPa.

**TABELA VII** –fck CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO - TRAÇO 2

CP	Tempo de cura (dias)	Média força (KN)	Média fck (MPa)
01	7	345,35	43,97
02	14	362,22	46,12
03	21	377,39	48,05
04	28	400,91	51,05

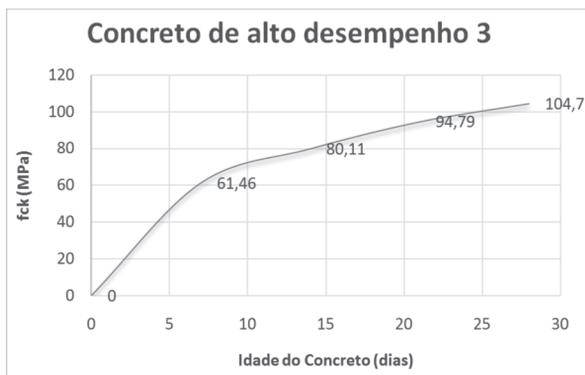


**FIGURA III**– GRÁFICO fck X IDADE DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO - TRAÇO 2

Através da tabela VII e da figura III, podemos observar que a resistência do concreto de alto desempenho com o traço 2 na idade de 28 dias foi de 51,05 MPa.

**TABELA VIII** – FCK CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO - TRAÇO 3

CP	Tempo de cura (dias)	Média força (KN)	Média fck (MPa)
01	7	482,73	61,46
02	14	629,16	80,11
03	21	744,45	94,79
04	28	821,952	104,7



**FIGURA IV– GRÁFICO fck X IDADE DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO - TRAÇO 3**

Através da tabela VIII e da figura IV, podemos observar que a resistência do concreto de alto desempenho com o traço 3 na idade de 28 dias foi de 104,7 MPa. Sendo assim o traço que alcançou maior resultado a resistência.

**Resultado do ensaio do módulo de elasticidade**

A tabela abaixo mostra o resultado do ensaio do módulo de elasticidade:

**TABELA IX – MÓDULO DE ELASTICIDADE.**

	<b>Média de fck's (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidade (GPa)</b>
Concreto Convencional	15,20	21,83
CAD 1	51,44	40,16
CAD 2	51,05	40,01
CAD 3	104,7	46,85

**Cálculo dos valores dos metros cúbicos dos concretos.**

Para a determinação do consumo de cimento em cada traço, utilizou-se a fórmula a seguir:

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{\delta_c} + \frac{a}{\delta_a} + \frac{b}{\delta_b} + x}$$

O valor obtido se refere a quantidade de cimento em massa utilizado para 1 m<sup>3</sup> de concreto. Multiplicando esse resultado por cada proporção do traço utilizado, temos a quantidade de cada componente para 1 m<sup>3</sup> do concreto. Sendo assim foi obtido as seguintes quantidades para cada traço:

**TABELA X – MASSA NECESSÁRIA PARA PRODUZIR UM METRO CÚBICO DE CONCRETO CONVENCIONAL**

<b>Material</b>	<b>Massa (kg)</b>
Cimento CP III	390,35
Areia	585,52
Brita 0	497,93
Brita 1	497,93
Água	195,18

**TABELA XI – MASSA NECESSÁRIA PARA PRODUZIR UM METRO CÚBICO DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO – TRAÇO 1**

Material	Massa (kg)
Cimento CP V	623,00
Areia de quartzo	550,00
Brita 0	513,50
Brita 1	513,50
Sílica ativa	311,50
Água	250,00

**TABELA XII – MASSA NECESSÁRIA PARA PRODUZIR UM METRO CÚBICO DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO – TRAÇO 2**

Material	Massa (kg)
Graute	435,18
Areia	652,76
Brita 0	1088,00
Água	217,58

**TABELA XIII – MASSA NECESSÁRIA PARA PRODUZIR UM METRO CÚBICO DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO – TRAÇO 3**

Material	Massa (kg)
Cimento CP V	960,00
Areia de quartzo	1056,00
Sílica ativa	240,00
Aditivo superplastificante	15,36
Água	144,00

Em seguida foi feita duas cotações assim podendo definir uma média dos valores de cada material.

**TABELA XIV – TABELA DOS VALORES DO MATERIAIS EM KG**

	Cotação 1 (R\$)	Cotação 2 (R\$)	Média (R\$)
Cimento CP III (kg)	0,455	0,436	0,4454
Cimento CP V (kg)	0,50	0,475	0,4875
Areia (kg)	0,029	0,028	0,0285
Brita 0 (kg)	0,034	0,035	0,0345
Brita 1 (kg)	0,030	0,031	0,0305
Areia de quartzo (kg)	8,00	7,74	7,87
Sílica ativa (kg)	1,60	1,65	1,625
Graute (kg)	0,89	0,87	0,86
Aditivo superplastificante (kg)	6,64	6,20	6,42

Em seguida multiplicou-se o valor do de cada material com a quantidade necessária, assim obtendo o valor de cada traço utilizado.

**TABELA XV – VALOR DO METRO CÚBICO DE CONCRETO**

<b>Tipo de concreto</b>	<b>Valor do metro cúbico (R\$)</b>
Concreto convencional	222,91
CAD 1	5.171,77
CAD 2	430,39
CAD 3	9.267,33

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Conclui-se através dos resultados obtidos que o concreto de alto desempenho tem um fck cerca de 80 % maior, comparado com o concreto convencional. Com esse excedente de resistência pode-se diminuir a área da seção de estruturas mais importantes em uma construção como vigas e pilares. Sendo assim é possível obter um aumento de espaço na obra.

Além disso, a utilização deste concreto pode diminuir as chances de se obter danos nas estruturas que contenham aço, pelo fato de ser um concreto com menos vazios.

Em contrapartida, o custo benefício deste material é mais elevado e seus materiais não são comumente encontrados quando comparados com o concreto convencional. Portanto, a utilização do concreto de alto desempenho deve ser específica, onde haja maior necessidade de um concreto mais resistente e durável.

### **REFERÊNCIAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova: **5738**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: **NBR 5739**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão: **8522**. Rio de Janeiro, 2008.

CONCRETO: Material construtivo mais consumido no mundo, São Paulo: IBRACON, Jan. fev. mar 2009.

FILHO, José Américo Alves Salvador. **Cura térmica dos concretos de alto desempenho: Análise das propriedades mecânicas utilizando o método da maturidade**. 2001. 105 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, UNESP. Ilha Solteira, 2001.

FONSECA, Gustavo Celso da. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: Uma abordagem epistêmica**. 2010. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2010.

GABRICH, Marcos Fernando. **Estudo da Influência das adições minerais no comportamento do concreto sob a ação do fogo**. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2008.

GUIMARÃES, João Paulo Fernandes. **Sinergia entre a nanosílica e a sílica ativa na produção de concreto**. Disponível em:

<<http://www.ibracon.org.br/eventos/56cbc/JPauloGuimaraes.pdf>>. Acesso em: 14 de abr. 2016.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Arquitetura, Universidade de São Carlos. São Carlos. 2003.

ISAIA, G. C. CONCRETO: **Ciência e Tecnologia**. V. 01, São Paulo: IBRACON, 2011.

ISAIA, G. C. CONCRETO: **Ciência e Tecnologia**. V. 02, São Paulo: IBRACON, 2011.

NICOLA, Andrei. **Blocos de Concreto**. 2010. 69 f. Dissertação (Graduação) – Curso de Engenharia Floresta, Universidade Federal do Tocantins, Gurube, 2010.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**.

São Paulo: Ed. PINI, 2º Edição, 2014.

MENDES, Sandro Eduardo da Silveira. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba**. 2002. 163 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

NAKAMURA, Juliana. **Economia concreta**. 2006. Disponível em:

<<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/115/artigo286357-1.aspx>>. Acesso em: 17 de setembro de 2016.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: PINI, 1997.

SILVA, Guilherme Jorge Brigolini. **Dissertação de Mestrado, Estudo do Comportamento do Concreto de Cimento Portland produzido com a Adição de Resíduo de Polimento do Porcelanato**. Engenharia Metalúrgicas e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

SINIC. **Relatório anual 2013**. Disponível em:

<<http://www.snic.org.br/pdf/RelatorioAnual2013final.pdf>>. Acesso em: 17 de set. 2016.

TECNOSIL. **Catálogo sílica ativa**. 2016. Disponível em:

<<http://www.tecnosilbr.com.br/produtos-aditivos-saco-soluvel-concreto>>. Acesso em: 19 de set. 2016.