

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL**

**JULIANA MICHEVIZ
JULIANE DA COSTA SANTOS
ROGER ALEXANDRE NONATO DA LUZ TEIXEIRA**

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DE BLOCOS DE CONCRETO COM
FUNÇÃO ESTRUTURAL PRODUZIDOS COM AGREGADOS LEVES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2011

**JULIANA MICHEVIZ
JULIANE DA COSTA SANTOS
ROGER ALEXANDRE NONATO DA LUZ TEIXEIRA**

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DE BLOCOS DE CONCRETO COM
FUNÇÃO ESTRUTURAL PRODUZIDOS COM AGREGADOS LEVES**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Projeto Final 2, do Curso de Engenharia de Produção Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. Aduino José Miranda de Lima

CURITIBA

2011

1 UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Campus Curitiba – Sede Ecoville
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Curso de Engenharia de Produção Civil

1.1

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE BLOCOS DE CONCRETO COM FUNÇÃO ESTRUTURAL PRODUZIDOS COM AGREGADOS LEVES

Por

JULIANA MICHEVIZ
JULIANE DA COSTA DOS SANTOS
ROGER ALEXANDRE NONATO DA LUZ TEIXEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, do Campus Curitiba, defendido e aprovado em 02 de dezembro de 2011, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Orientador – Aduino José Miranda de Lima, Dr.
UTFPR

Prof. José Alberto Cerri, Dr.
UTFPR

Prof. Wellington Mazer, Dr.
UTFPR

RESUMO

As técnicas de construção civil são desenvolvidas e aprimoradas com auxílio de ensaios e observação. Construções com conceito autoportante são feitas há milhares de anos e com a evolução tecnológica representam atualmente uma solução rápida e prática para ser utilizada nos canteiros de obra. Seguindo esse conceito, neste trabalho, pesquisou-se a viabilidade da substituição dos agregados convencionais na fabricação dos blocos de concreto por agregados leves, de forma que o bloco mantivesse a função estrutural atendendo os requisitos da norma ABNT NBR 6136/2007. Os agregados usualmente utilizados na produção de blocos são brita 0 e areia média. Desta forma, a proposta deste trabalho é a utilização de vermiculita expandida como substituta da areia; e argila expandida, no lugar de brita 0, por serem agregados leves com dimensões equivalentes. A utilização dos agregados leves na produção blocos de concreto estruturais pode produzir benefícios nas construções como a diminuição do dimensionamento das fundações (redução do peso próprio da estrutura), bem como em edifícios que não podem sofrer incremento de carga na estrutura e devem passar por reformas, sendo, a utilização de blocos mais leves que os convencionais uma boa alternativa. Os agregados escolhidos possuem também bom desempenho termo-acústico, porém estas características não foram estudadas neste trabalho. Foram executados blocos com agregados convencionais para determinação do traço de referência, que foi utilizado para a produção dos blocos com substituições de 0%, 50% e 100% dos agregados convencionais por argila e vermiculita expandidas. Foi utilizado o método fatorial fracionado com superfície de resposta para determinação do traço ótimo com a substituição dos agregados no concreto. Esse método de tratamento estatístico foi o mais viável, pois diminuiu o número de amostras a serem produzidas e ensaiadas, assim como foi possível chegar ao resultado de uma proporção ótima de agregados leves com economia de material e tempo.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Blocos de concreto. Agregados leves. Argila expandida. Vermiculita expandida.

ABSTRACT

Construction techniques are developed and improved with the help of tests and observation. Constructions based upon a self-supporting concept have been made for thousands years and with technological evolution they now stand for a quick and practical solution for usage in building sites. Following this concept, this paper researched the feasibility of replacing conventional aggregates in the manufacture of concrete blocks by lightweight materials, so that the blocks keep the same structural function according to ABNT NBR 6136/2007. The aggregates commonly used in the production of concrete blocks are crushed stone 0 and medium sand. The purpose of this paper is the use of exfoliated vermiculite as a substitute for sand; and exclay, for crushed stone 0, because they are lightweight composites with equivalent dimensions. The use of lightweight aggregates in structural concrete block production can produce benefits such as reduction in depth of the foundations of the design (bringing down the weight of the structure itself), as well as buildings that can not suffer increased load on their structures and may undergo renovations. Therefore the employment of lighter materials seems a good alternative to the conventional one. Furthermore the chosen lightweight aggregates have also been proven with good thermal and acoustic performances, however these features were not studied in this paper. Blocks were performed with conventional aggregates to determine the reference mark, which was utilized for the production of blocks with replacements of 0%, 50% and 100% of conventional aggregates by exclay and exfoliated vermiculite. The used method was the fractional factorial response surface, which suited to determine the optimal mark with the replacement of aggregates in concrete. This statistical method was the most feasible, since it has reduced the number of producing and testing samples, moreover it was possible to reach a result of a greater proportion of lightweight aggregates with less materials and time savings.

Keywords: Structural masonry. Concrete blocks. Lightweight aggregates. Exclay. Exfoliated vermiculite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Condomínio Central Park Lapa	11
Figura 2.2 Blocos de Concreto e suas medidas	15
Figura 2.3 Sequência de produção dos blocos nos equipamentos de vibro-compressão	17
Figura 2.4 Imagem aérea da fábrica da Cinexpan	29
Figura 2.5 Argila expandida 1506	30
Figura 2.6 Argila expandida 2215	30
Figura 2.7 Mina de extração de vermiculita da Brasil Minérios	32
Figura 2.8 Vermiculita expandida	32
Figura 2.9 Regularização de laje com uso da vermiculita	32
Figura 2.10 Saco comercial de 100 litros de vermiculita expandida	33
Figura 3.1 Exemplo de superfície de resposta	38
Figura 3.2 Esquema de frações de substituição dos agregados	38
Figura 4.1 Ensaio de resistência à compressão do bloco convencional	40
Figura 4.2 Ensaio de resistência à compressão do bloco de mistura B	42
Figura 4.3 Bloco de mistura E: 100% vermiculita e argila	42
Figura 4.4 Bloco celular 30x60x10	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Valores mínimos para a resistência à compressão de blocos de concreto para alvenaria	14
Tabela 2.2 Blocos de concreto: dimensões reais	14
Tabela 2.3 Blocos de concreto: espessura mínima das paredes dos blocos	15
Tabela 2.4 Classificação do concreto de acordo com a sua massa específica	21
Tabela 2.5 Composição potencial do cimento Portland	23
Tabela 2.6 Tipos, normas e composição limites dos cimentos	24
Tabela 2.7 Características da argila expandida	29
Quadro 2.8 Características da vermiculita	31
Tabela 3.1 Composição do cimento CPV-ARI-RS	34
Tabela 3.2 Características químicas do cimento CPV-ARI-RS	35
Tabela 3.3 Características físicas do cimento CPV-ARI-RS	35
Tabela 3.4 Resistência à mínima à compressão do cimento CPV-ARI-RS	35
Tabela 3.5 Determinação do traço de referência	37
Tabela 4.1 Resistência à compressão dos blocos produzidos	41
Tabela 4.2 Resistência à compressão dos blocos com substituição dos agregados conforme teores pré-estabelecidos	43
Tabela 4.3 Resultados dos índices físicos	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 Relação A/C e resistência para concreto em blocos e concreto tradicional.....	27
Gráfico 3.1 Exemplo de superfície de resposta	38
Gráfico 4.1 Superfície de resposta para o modelo de resistência à compressão	44
Gráfico 4.2 Superfície de resposta para o modelo de índices de vazios.....	46
Gráfico 4.3 Superfície de resposta para o modelo de absorção de água	47
Gráfico 4.4 Superfície de resposta para o modelo de massa específica.....	48
Gráfico 4.5 Custo de insumos para produção de 1 bloco estrutural 14x19x39 cm ...	49
Gráfico 4.6 Custo de insumos para produção de 1 bloco estrutural de 14x19x39 cm com substituição total de brita 0 por argila expandida	51
Gráfico 4.7 Custo de insumos para produção de 1 bloco estrutural de 14x19x39 cm com substituição total de brita 0 por argila expandida e 8,77% da areia por vermiculita expandida	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
1.1	OBJETIVOS.....	7
1.2	JUSTIFICATIVAS	8
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	9
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	10
2.1	ALVENARIA ESTRUTURAL	10
2.1.1	Evolução histórica	10
2.1.2	Alvenaria estrutural no Brasil.....	10
2.1.3	Vantagens e desvantagens do sistema	12
2.1.4	Materiais utilizados	12
2.2	CONCRETO	20
2.2.1	Tipos de concreto.....	20
2.2.2	Cimento Portland como Componente do Concreto.....	22
2.3	AGREGADOS.....	24
2.3.1	Função dos Agregados	24
2.3.2	Propriedades do concreto ligadas ao agregado	26
2.3.3	Agregados utilizados nos blocos de concreto convencionais	27
2.3.4	Agregados leves.....	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1	MATERIAIS	34
3.1.1	Aglomerante.....	34
3.1.2	Agregados.....	35
3.1.3	Água de Amassamento	36
3.2	MÉTODOS.....	36
4	RESULTADOS.....	40
4.1	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	40
4.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	45
4.2.1	Índice de Vazios	45
4.2.2	Absorção de Água.....	46
4.2.3	Massa Específica	47
4.3	AVALIAÇÃO TÉCNICA	48
4.4	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	49
4.4.1	Bloco Estrutural de Concreto.....	49
4.4.2	Bloco de Concreto Celular.....	50
4.4.3	Bloco Estrutural de Cerâmica	50
4.4.4	Bloco Estrutural de Concreto com Agregados Leves.....	51
5	CONCLUSÕES.....	54
5.1	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	55
6	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

Acompanhando a evolução do homem, as técnicas de construção civil foram desenvolvidas e aprimoradas com auxílio de ensaios e observação. As construções com blocos estruturais são muito antigas, como exemplo tem-se as pirâmides construídas pelos egípcios com blocos de pedra por volta do ano 2550 a.C. Porém até hoje o conceito de construção autoportante, isto é, construção que se sustenta, é utilizado. O sistema utilizando blocos de alvenaria, cerâmicos ou de concreto, com função estrutural agrega rapidez e praticidade aos canteiros de obras.

Grande parte dos materiais utilizados na construção civil são recursos naturais que podem ou não sofrer processos de industrialização. A variedade desses recursos leva a um interesse em pesquisas de soluções alternativas que aumentem a eficiência e a qualidade das edificações, considerando por quanto tempo as reservas disponíveis podem atender a demanda, poluição gerada na extração e beneficiamento, possibilidade de reaproveitamento, dentre outros fatores.

Os blocos de concreto para a alvenaria estrutural, apesar de representarem um conceito prático e ágil de construção, apresentam alguns pontos que podem ser melhorados. A substituição dos agregados usualmente empregados por materiais com peso específico reduzido pode proporcionar alguns benefícios notáveis como maior praticidade para o sistema, aumentando a produtividade e consequentemente acelerando a conclusão das obras e redução da carga total das edificações.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo Principal

O principal objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um traço de concreto para produção blocos para alvenaria estrutural com peso reduzido se comparado aos blocos atualmente comercializados, utilizando agregados leves garantindo o atendimento dos requisitos presentes na norma ABNT NBR 6136/2007.

Objetivos Específicos

- Produzir e ensaiar blocos de concreto com proporções de vermiculita expandida e argila expandida.
- Determinar a mistura, para atingir resistência mecânica à compressão de 4,5 Mpa, através de tratamento estatístico dos resultados dos blocos com proporções dos agregados.
- Realizar a análise da eficiência física, mecânica e econômica do bloco com traço proposto, em comparação com o bloco de concreto convencional para construção em alvenaria estrutural.

1.2 JUSTIFICATIVAS

A área da construção civil tem sido foco de muitas pesquisas relacionadas aos materiais e técnicas nela empregados, visando o aprimoramento dos processos. O sistema de construção utilizando blocos de alvenaria com função estrutural apresenta um conceito prático de edificação, porém alguns aspectos sendo revistos podem produzir melhorias significativas.

O item a ser melhorado abordado neste projeto é o peso elevado que os blocos hoje disponíveis no mercado apresentam, com aproximadamente 12kg cada e como a diminuição deste peso traria benefícios aos processos construtivos, desde o menor desgaste do operário no que diz respeito ao manuseio da peça, gerando aumento da produtividade, além da redução do peso próprio da edificação com consequente redução do dimensionamento das fundações.

Um bloco de concreto mais leve e com função estrutural é a solução ideal para reformas em estruturas que têm limitações quanto ao aumento de carga. Além do custo social, pois blocos de fácil manipulação e resistência conforme as normas da ABNT podem facilitar as construções que são executadas pelo próprio morador da futura residência.

Outro ponto de grande interesse e que pode aumentar a viabilidade deste produto é a possibilidade de que este bloco leve seja um bom isolante termo-

acústico, devido às características dos agregados propostos, favorecendo projetos que visam redução do consumo de energia elétrica.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se dividido em 5 capítulos, sendo o Capítulo 1, uma Introdução ao tema, que tem um caráter de apresentação geral e onde foram inseridos os objetivos, a justificativa e as limitações da pesquisa.

O Capítulo 2 compreende uma Revisão da Literatura sobre temas pertinentes, tais como: alvenaria estrutural no Brasil, características dos blocos usualmente comercializados, características do concreto e agregados.

Os Materiais e Métodos utilizados na pesquisa são apresentados no Capítulo 3, onde se apresentam, também, as fases que compõem a pesquisa experimental e os procedimentos de ensaios empregados na caracterização dos materiais utilizados na produção e avaliação do concreto leve produzido com agregados de peso específico reduzido para produção do bloco estrutural.

No Capítulo 4, são apresentados os resultados obtidos no programa experimental e as análises considerando as características dos agregados leves escolhidos em comparação com os materiais de referência adotados no estudo.

No Capítulo 5, serão apresentadas considerações finais e conclusões do estudo.

Nos Anexos ao estudo encontram-se as análises estatísticas efetuadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ALVENARIA ESTRUTURAL

Nos primórdios a alvenaria era usada como material estrutural, no entanto, devido ausências de técnicas de dimensionamento, apresentava uma estrutura robusta e com valor econômico alto (PRUDÊNCIO JUNIOR; OLIVEIRA; BEDIN, 2002).

2.1.1 Evolução histórica

A alvenaria estrutural é usada desde a antiguidade. Porém segundo Prudêncio Junior, Oliveira e Bedin (2002), a alvenaria estrutural teve seu surgimento propriamente dito no ano de 1950. Isso devido a Paul Haller (Suíça) que dimensionou e construiu um edifício de treze andares, equivalente a 41,4 metros de altura, na Basileia, em alvenaria não armada.

Os estudos desta nova técnica foram proporcionados devido a uma série de situações que estavam ocorrendo na época, como a escassez de aço e concreto, consequências da Segunda Guerra Mundial (MOHAMAD, 2007).

Na década de 60 houve um crescimento nas pesquisas, testes em escala real foram executados em prédios de cinco andares sob a responsabilidade dos professores A. W. Hendry e B. P. Sinha. Os resultados desses estudos foram usados para os cálculos de ações de cargas horizontais e para precauções contra danos acidentais que possam ocorrer na estrutura (MOHAMAD, 2007).

2.1.2 Alvenaria estrutural no Brasil

O sistema construtivo de alvenaria estrutural surgiu apenas no final da década de 60 no país. As edificações eram na maioria de quatro pavimentos, e não existiam critérios de dimensionamento e execução, o que acabavam a cargo da experiência do construtor. As paredes, nos três primeiros pavimentos, eram de unidades cerâmicas maciças e no último usavam-se unidades vazadas com os furos na mesma direção do assentamento (MOHAMAD, 2007).

Segundo Ramalho e Corrêa (2003) os mais altos edifícios já construídos, em alvenaria não armada, no Brasil são de 1972, na cidade de São Paulo. O condomínio Central Park Lapa possui quatro blocos de 12 pavimentos cada (Figura 2.1). Foi construído posterior a esse o edifício Muriti de 16 pavimentos, em São José dos Campos.



Figura 2.1: Condomínio Central Park Lapa

Fonte: <<http://www.apsconstrucoes.com.br/>>

Foi na década de 80 que a alvenaria estrutural atingiu o seu ápice no Brasil. Houve um grande investimento por parte das construtoras e produtoras de blocos nesta tecnologia (PRUDÊNCIO JUNIOR; OLIVEIRA; BEDIN, 2002).

A partir deste período muitos trabalhos expressivos foram realizados. No entanto, de acordo com Prudêncio Junior, Oliveira e Bedin (2002), um convênio entre a construtora Encol e o professor Fernando Henrique Sabbatini, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, foi marcado como o mais significativo trabalho de pesquisa científica de um sistema construtivo já realizado no Brasil. Essa pesquisa baseia-se no desenvolvimento do processo desde a produção dos blocos de concreto até o controle e manutenção dos edifícios executados.

A criação do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat, também conhecido como PBQP-H, e do selo que qualifica e certifica os fabricantes

de blocos estruturais praticamente eliminou as incertezas que existiam sobre a qualidade dos blocos estruturais. Outro fato que consolida este cenário de crescimento é o constante aprimoramento nos detalhes e desenvolvimento das técnicas nos projetos (PRUDÊNCIO JUNIOR; OLIVEIRA; BEDIN, 2002).

2.1.3 Vantagens e desvantagens do sistema

Uma das vantagens da utilização do sistema de alvenaria estrutural é o fator econômico. Segundo Prudêncio Junior, Oliveira e Bedin (2002) a comparação dos custos entre o sistema convencional e o estrutural levou ao crescimento da utilização desse sistema. De acordo com Mohamad (2007) técnicas simplificadas aperfeiçoaram as tarefas no canteiro de obras, assim como o controle mais fácil das etapas e a diminuição do desperdício de materiais proporcionou uma vantagem econômica do processo.

Além da econômica existem outras vantagens que o sistema proporciona. Segundo Ramalho e Corrêa (2003) os pontos positivos do sistema seguem uma ordem de importância. Primeiramente a economia de fôrmas, depois a redução nos revestimentos, redução de desperdício tanto de materiais como de mão-de-obra, bem como a redução da quantidade de especialistas para execução dos serviços.

Podem-se apontar algumas desvantagens do sistema, tais como a dificuldade de adaptação no arranjo arquitetônico, o tipo de uso já que para algumas necessidades, como em caso de edifícios comerciais que necessitam de vãos grandes, o sistema de alvenaria estrutural não é adequado (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

2.1.4 Materiais utilizados

Os componentes principais utilizados na alvenaria estrutural são os blocos, argamassa, graute e armaduras. Esses materiais são usados para formar as paredes, pilares, vergas, entre outros (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Blocos de concreto

As unidades podem ser classificadas de vedação e estruturais. A resistência a compressão e outras características dos blocos devem atender a norma ABNT NBR 6136/2007 obedecendo aos limites de resistência mecânica à compressão mínima de 6 MPa para paredes externas sem revestimento e 4,5 MPa para paredes internas e externas com revestimento. Portanto, na prática, só podem ser utilizados blocos de concreto com resistência característica de no mínimo 4,5 MPa (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

De acordo com Prudêncio Junior, Oliveira e Bedin (2002) a constituição do concreto usado deve ser de cimento Portland, agregados e água. Os agregados variam entre areia, pedriscos, argila expandida e outros materiais. Esses agregados não podem ter uma dimensão maior que $\frac{1}{4}$ da menor espessura da parede do bloco.

Os fabricantes têm produzido uma quantidade grande de tipologia de dimensões de blocos para evitar possíveis problemas construtivos na fase de projetos. Os mais conhecidos no Brasil apresentam as seguintes dimensões: (14x19x39) cm; (19x19x39) cm; e (14x19x) cm (sendo representados por largura, altura e comprimento), (PRUDÊNCIO JUNIOR; OLIVEIRA; BEDIN, 2002).

Os agregados usados nos blocos estruturais possuem quase as mesmas características dos blocos de alvenaria comum. Segundo Prudêncio Junior, Oliveira e Bedin (2002) nos agregados miúdos é usado na maioria das vezes areia média e grossa especificados na NBR 7211/2009. O cimento mais empregado na fabricação é o ARI (Alta Resistência Inicial).

Segundo a norma ABNT NBR 6136/2007 os blocos de concreto devem atender, quanto ao uso, às classes que abaixo que são apresentadas na Tabela 2.1:

- Classe A – Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo;
- Classe B – Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;
- Classe C – Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo (M10 máximo 1 pavimento, M12,5 máximo 2 pavimentos e M15 e M20 edificações maiores);

- Classe D – Sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

TABELA 2.1 - VALORES MÍNIMOS PARA A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA

Classe	Resistência Característica f_{bk} (MPa)	Absorção Média		Retração por Secagem ¹ (%)
		Agregado Normal (%)	Agregado Leve (%)	
A	≥ 6,0		≤ 13,0	
B	≥ 4,0		(média)	
C	≥ 3,0	≤ 10,0	≤ 16,0	≤ 0,065
D	≥ 2,0		(individual)	

¹ Ensaio Facultativo

Fonte: Norma ABNT NBR 6136/2007 (Adaptado pelos autores)

Nomenclatura e Dimensões dos Blocos de Concreto

Os aspectos de extrema importância que devem ser levados em conta são o tamanho dos blocos, os vãos estruturais, as dimensões das paredes estruturais e a espessura dos caixilhos. (PRUDÊNCIO JUNIOR; OLIVEIRA; BEDIN, 2002).

As reais dimensões dos blocos vazados de concreto, modulares e sub-modulares devem corresponder às medidas constantes da Tabela 2.2, a figura 2.2 ilustra estas as medidas.

TABELA 2.2 - BLOCOS DE CONCRETO: DIMENSÕES REAIS

Família de Blocos														
Designação	Nominal	20			15			12,5			10			7,5
	Módulo	M-20			M-15			M-12,5			M-10			M-7,5
Amarração	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2		
Linha	20x40	15x40	15x30	12,5x40	12,5x25	12,5x37,5	10x40	10x30	10x30	7,5x40	7,5x40	7,5x40		
Largura (mm)	190	140	140	115	115	115	90	90	90	65	65	65		
Altura (mm)	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190	190		
Comprimento (mm)	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	190	290	390	390		
	Meio	190	190	140	190	115	-	190	90	-	190	190		
	2/3	-	-	-	-	-	240	-	-	190	-	-		
	1/3	-	-	-	-	-	115	-	-	90	-	-		
Amarração	L	-	340	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	T	-	540	440	-	-	365	-	290	290	-	-		
Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	-	-	90	90		
Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	-	-	40	40		

Fonte: Norma ABNT NBR 6136/2007 (Adaptado pelos autores)

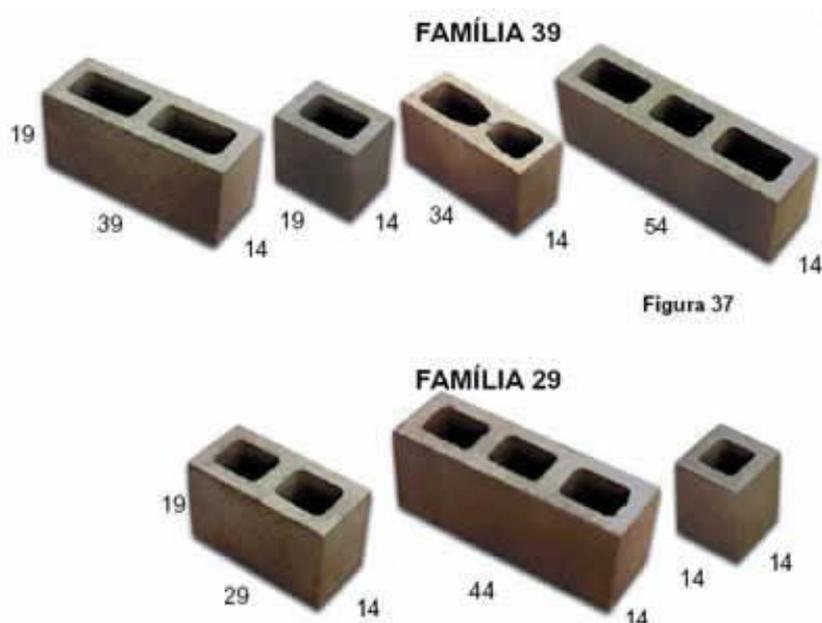


Figura 2.2 – Blocos de concreto e suas medidas

Fonte: <http://www.fazfacil.com.br/reforma_construcao/paredes_blocos_3.html>

A espessura mínima de qualquer parede de bloco deve atender a Tabela 2.3. A tolerância permitida nas dimensões das paredes é de até - 1,0 mm para cada valor individual.

TABELA 2.3 - BLOCOS DE CONCRETO: ESPESSURA MÍNIMA DAS PAREDES DOS BLOCOS

Classe	Designação	Paredes		
		Longitudinais ¹ (mm)	Paredes ¹ (mm)	Espessura Equivalente ² (mm/m)
A	M-15	25	25	188
	M-20	32	25	188
B	M-15	25	25	188
	M-20	32	25	188
C	M-10	18	18	135
	M-12,5	18	18	135
	M-15	18	18	135
D	M-20	18	18	135
	M-7,5	15	15	113
	M-10	15	15	113
	M-12,5	15	15	113
	M-15	15	15	113
	M-20	15	15	113

¹ Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.

² Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em milímetros), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros).

Fonte: Norma ABNT NBR 6136/2007 (Adaptado pelos autores)

Processo de produção de Blocos de Concreto

O processo de produção dos blocos de concreto inicia-se pela escolha do traço dos materiais constituintes e a destinação do bloco, se vedação ou estrutural, e neste caso, qual a resistência a ser atingida (CADERNO TÉCNICO ALVENARIA ESTRUTURAL, 2010).

Conforme consta no Caderno Técnico Alvenaria Estrutural (2010), há vários métodos de dosagem para a produção dos blocos de concreto:

- Método da ABCP: baseado na proporção de agregados que resulte no menor volume possível de vazios;
- Método da Besser (*Besser Company*): baseado no traço pela granulometria final das misturas;
- Método do IPT/Epusp adaptado: fixação da umidade ótima e controle de massa dos blocos;
- Método de dosagem da Columbia: fixa quantidades mínimas de finos para aumentar a coesão do bloco.

Os equipamentos utilizados para a fabricação são as vibro-prensas (vibração associada à prensagem). A vibração tem por objetivo o preenchimento do molde e eliminação de vazios, enquanto a prensagem influencia no adensamento e acabamento do bloco (CADERNO TÉCNICO ALVENARIA ESTRUTURAL, 2010).

A sequência de produção dos blocos de concreto é apresentada na figura 2.3.

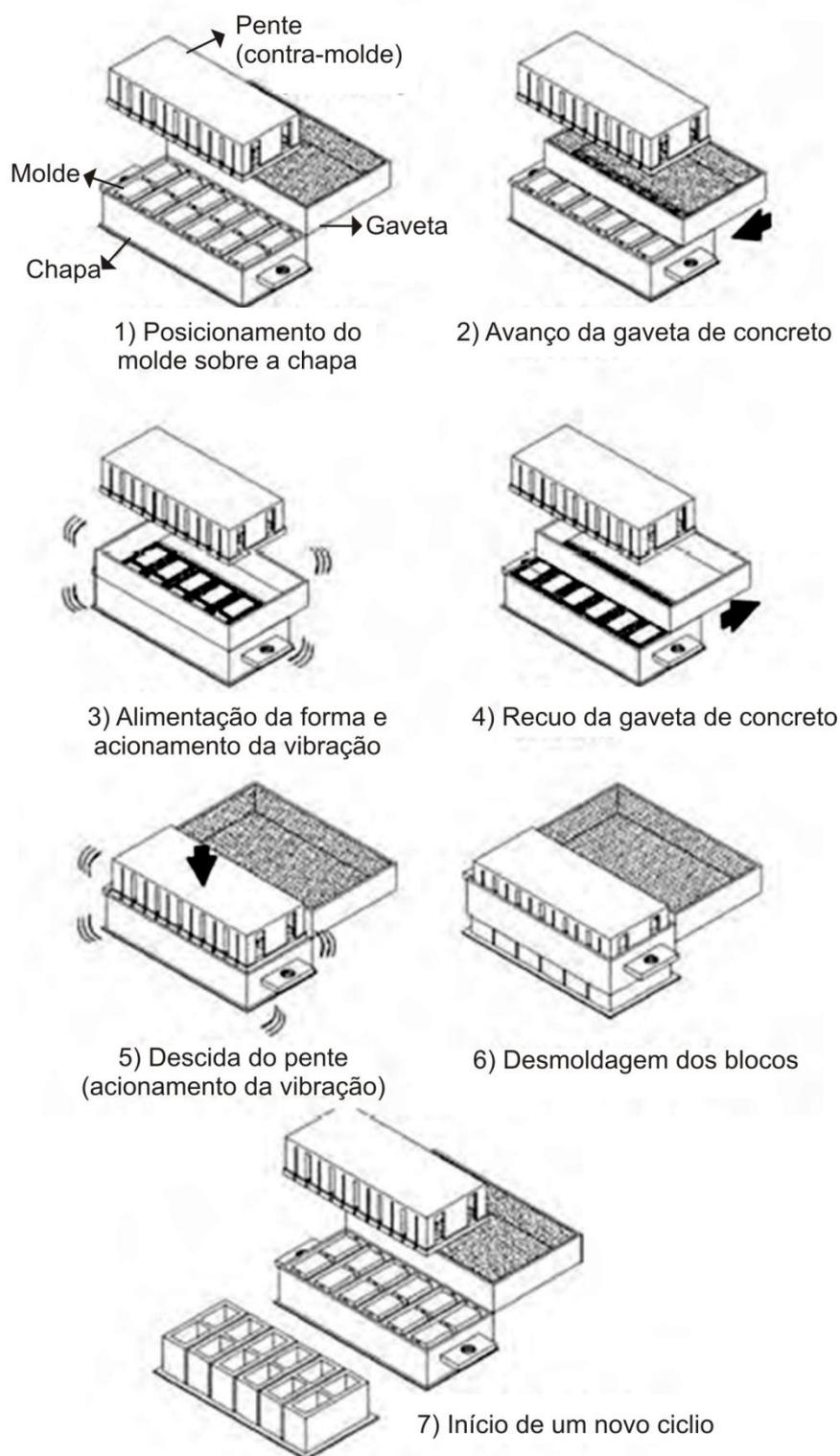


Figura 2.3 - Sequência de produção dos blocos nos equipamentos de vibro-compressão (Adaptado pelos autores)

Fonte: CADERNO TÉCNICO ALVENARIA ESTRUTURAL (2010)

Para se obter um processo de fabricação de qualidade é necessário ter um controle desde a entrega dos materiais, até a prensagem e cura dos blocos. O cimento assim que entregue deve ser estocado em silos, sendo imediatamente liberado para uso. Nos agregados são verificados a granulometria e homogeneidade com jogos de peneiras. Depois deste controle vem a etapa de mistura atendendo o traço desejado, que é a proporção entre água, cimento e agregados (ANUÁRIO PINI CONSTRUÇÃO, 2011). Em seguida, segue as etapas conforme ilustra a Figura 2.3.

Mehta e Monteiro (2008) consideram sete dias como um período mínimo de cura ao ar livre para concretos contendo cimento Portland comum, sendo desejável, porém, períodos mais longos para concretos contendo cimentos compostos ou com adições minerais, de modo a garantir a contribuição das reações pozolânicas na resistência do material.

Após o processo de fabricação os produtos são empilhados sobre *pallets* de madeira e plastificados com um filme de polipropileno. Antes de serem enviados os *pallets* são levados até uma câmara a vapor, 80°C e umidade a 100%, com isso acelera o processo de cura. Permanecem por um período de 12 horas, até atingir a resistência adequada. Para isso é feito o controle tecnológico após dois dias, em alguns blocos de cada lote, e repetido depois de 28 dias (ANUÁRIO PINI CONSTRUÇÃO, 2011).

A ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) concede seu selo de qualidade aos fabricantes que atendem às normas técnicas, podendo os mesmos serem consultados no site da associação. Este selo é de grande importância, pois garante à construtora que os blocos comprados atenderão aos requisitos mínimos da norma para os projetos. Em Curitiba, apenas a empresa Valderli GAI & Cia está certificada com selo para todas as classes de bloco, de 2 a 22 MPa (ABCP, 2011).

Argamassa

As funções básicas das argamassas de assentamento são “solidarizar as unidades, transmitir e uniformizar as tensões entre as unidades de alvenaria, absorver pequenas deformações e prevenir a entrada de água e de vento nas edificações” (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Prudêncio Junior, Oliveira e Bedin (2002) apresentam algumas características que devem ser levadas em conta para a argamassa consiga exercer essas funções,

dentre elas a trabalhabilidade (plasticidade, coesão e consistência), retenção de água, ter aderência adequada e ser durável. Deve atingir resistência nas primeiras horas e desenvolvê-la num valor adequado para não comprometer as unidades que as unem, apresentar resistência a compressão e resiliência (baixo módulo de deformação).

Existem diferentes tipos de argamassa. As argamassas mistas produzidas nos canteiros de obra que apresentam traços com proporções variadas de cimento, cal e agregado miúdo. Com isso resultam em argamassas específicas para serem usadas em fundações, muros de arrimo, alvenarias expostas, paredes internas entre outras. Podem ser encontradas no mercado ainda as argamassas semiprontas, produzidas em central dosadora com cal e areia e adicionado cimento Portland somente na obra, e as argamassas industrializadas, que já vêm prontas, a qual é necessária apenas a adição de água na sua composição (PRUDÊNCIO JUNIOR; OLIVEIRA; BEDIN, 2002).

Graute

O graute é uma composição de materiais cimentícios e água, com ou sem agregados de pequena dimensão e consistência fluída (PRUDÊNCIO JUNIOR; OLIVEIRA; BEDIN, 2002). Tem como função aumentar a área da seção transversal dos blocos ou solidarizar as barras de aço nos seus vazios. O graute deve aderir tanto as armaduras como as unidades para que assim forme-se um conjunto único e trabalhe da mesma maneira que as estruturas de concreto armado (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Para que esta interação funcione é preciso, segundo a NBR 10837/2000, que o graute possua resistência mecânica à compressão mínima igual a duas vezes a resistência característica do bloco.

A resistência mecânica à compressão é obtida por meio da relação entre área líquida e área bruta da unidade. E para controlar essa resistência são feitos ensaios do graute. Os corpos de provas são assentados em uma justaposição de quatro blocos e preenchidos em seus vazios por graute (PRUDÊNCIO JUNIOR; OLIVEIRA; BEDIN, 2002).

Armaduras

As armaduras usadas na alvenaria estrutural são as mesmas do sistema de concreto armado, no entanto são sempre envolvidas completamente por graute. As barras de aço colocadas nas juntas de assentamento devem obedecer a um diâmetro mínimo de 3,8 mm, e que não seja maior que metade da espessura da junta (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), a capacidade mecânica do aço nas estruturas de alvenaria é pouco aproveitada na resistência à compressão, já que a tensão fica limitada a valores bem baixo da tensão de escoamento do material. Esse limite é devido à necessidade de se evitar uma fissuração excessiva, e também para garantir a aderência entre a barra de aço e o graute. No entanto, essa limitação faz com que a contribuição seja menor do que a esperada, isso porque a resistência mecânica à compressão dos outros componentes da alvenaria é relativamente elevada.

2.2 CONCRETO

Segundo Brunauer e Copeland (1964 apud MEHTA; MONTEIRO, 2008), o material de construção mais utilizado no mundo é o concreto, comumente composto de cimento Portland, areia, brita e água. O Sindicato Nacional da Indústria do Cimento publicou no relatório anual de 2010 que o consumo per capita de cimento neste ano foi de 311 kg/hab, resultado 4,4 vezes maior que o consumo no ano de 1964 de 71 kg/hab.

2.2.1 Tipos de concreto

Segundo Mehta e Monteiro (2008) o concreto pode ser classificado em três categorias:

Concreto de densidade normal: contem areia natural e pedregulhos ou agregados britados, com massa específica em torno de 2400 kg/m³.

Concreto leve: composto por agregados com menor densidade de massa, fazendo a massa específica ficar em torno de 1800 kg/m³.

Concreto pesado: usado em blindagem contra radiação, produzido com agregados de alta densidade totalizando uma massa específica em torno de 3200 kg/m³.

Concretos com agregados leves

Pela classificação da American Concrete Institute, por meio da norma ACI 213R (2003) apud Mehta Monteiro (2008), o concreto com agregados leves podem ser classificados de acordo com sua massa específica conforme apresentado na Tabela 2.4.

TABELA 2.4 – CLASSIFICAÇÃO DO CONCRETO DE ACORDO COM A SUA MASSA ESPECÍFICA

	Exemplos de agregados	Resistência à compressão (MPa)	Massa específica (kg/m ³)
Concreto leve Isolante	Vermiculita	0,7 a 7,0	300 a 800
Concreto leve com resistência moderada	Pedra pomes, escória	7,0 a 17	800 a 1350
Concreto leve estrutural	Argila e escória expandidas	Acima de 17 (1)	800 a 2000

Fonte: Norma ACI 213R-03 apud Mehta Monteiro (2008) (Adaptado pelos autores)

Nota: (1) Sobral (1994) define como 17,5 MPa como mínima aceitável. NBR 6118/2003 estabelece 20 MPa para concretos estruturais.

Neville (1997) cita que uma desvantagem do concreto leve é o teor maior de cimento em relação ao convencional, o que encarece a produção. No entanto, ele acrescenta que uma comparação criteriosa deve-se levar em conta outros fatores e não limitar-se aos custos dos materiais, tomando o projeto como um todo para a viabilidade.

Dentre os agregados leves, a vermiculita se mostra como o agregado que gera o concreto com menor massa específica, chegando a incríveis 300 kg/m³, ainda que sem função estrutural.

Com a argila expandida substituindo em parte os agregados convencionais chega-se a massa específica da ordem de 1600kg/m³ e resistência de 32 MPa (MAYCÁ et al., 2008).

2.2.2 Cimento Portland como Componente do Concreto

O cimento é um material seco, finamente pulverizado, que sozinho não é aglomerante, mas que como resultado da hidratação (reações químicas entre os minerais do cimento e a água), desenvolve propriedades aglomerantes. O cimento hidráulico tem como características adesividade e estabilidade em meio aquoso e o material mais utilizado é o cimento Portland, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Segundo Falcão Bauer (2000), o cimento Portland é o produto obtido pela pulverização do clínquer constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio com certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam ser emprego. Os constituintes fundamentais do cimento Portland são a cal (CaO), a sílica (SiO₂), a alumina (Al₂O₃), o óxido de ferro (Fe₂O₃) e certas proporções de magnésia e anidrido sulfúrico, que funciona como retardador de pega e é adicionado após a calcinação. Há também em menores quantidades impurezas, óxido de sódio, óxido de potássio, óxido de titânio e outras substâncias de menor importância.

A mistura das matérias-primas que contenha em proporções convenientes, os constituintes anteriormente relacionados, finamente pulverizada e homogeneizada, é submetida à ação do calor no forno produtor de cimento até a temperatura de fusão incipiente, resultando no clínquer. As propriedades do cimento são relacionadas diretamente com as proporções silicatos e aluminatos formados neste processo, logo é importante conhecer estas proporções, pois pode-se correlacionar com as propriedades finais do cimento. Os principais compostos formados são (FALCÃO BAUER, 2000):

- silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$) é o maior responsável pela resistência em todas as idades do concreto, especialmente no primeiro mês de cura;
- silicato bicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$) importante no endurecimento em idades mais avançadas, responsável pelo ganho de resistência a um ano ou mais;
- aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$) contribui para a resistência, especialmente no primeiro dia, bem como para a liberação do calor de hidratação no início do processo de cura, sendo responsável pela rapidez de pega.

- ferro aluminato tetracálcico ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$) é um subproduto do cimento não contribuindo para a resistência nem para o processo de cura.

Na Tabela 2.5, relaciona-se tais compostos, apresentando sua constituição e os teores presentes no cimento Portland (NEVILLE, 1997; PETRUCCI, 1993).

TABELA 2.5 - COMPOSIÇÃO POTENCIAL DO CIMENTO PORTLAND

Composto	Constituição	Símbolo	Teores Típicos
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C3S	45% a 60%
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C2S	15% a 30%
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C3A	6% a 12%
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C4AF	6% a 8%

Fonte: NEVILLE (1997); PETRUCCI (1993) (Adaptado pelos autores)

Tipos de Cimento Portland

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (1997), existem no Brasil vários tipos de cimento, com emprego e consumo variando em função de suas características especiais. A Tabela 2.6, apresenta os tipos de cimento disponíveis comercialmente no Brasil, bem como a sigla pela qual são designados e a classe, que representa a resistência mínima à compressão, em MPa, aos 28 dias de idade.

TABELA 2.6 - TIPOS, NORMAS E COMPOSIÇÃO LIMITES DOS CIMENTOS

	Nome Técnico	Sigla	Classe (MPa)	Composição (Teores Máximos %)			
				Filler	Pozolana	Escória	Mat. Carbonático
CP Comum NBR 5.732 (1991)	Cimento Portland Comum	CP I	25, 32, 40	-	-	-	-
	Cimento Portland Comum com Adição	CP I - S	25, 32, 40	-	-	-	0% a 5%
CP Composto NBR 11.578 (1991)	Cimento Portland Composto com Escória	CP II - E	25, 32, 40	-	-	6% a 34%	0% a 10%
	Cimento Portland Composto com Pozolana	CP II - Z	25, 32, 40	-	6% a 14%	-	0% a 10%
	Cimento Portland Composto com Filler	CP II - F	25, 32, 40	6% a 10%	-	-	0% a 10%
Cimento Portland de Alto Forno NBR 5.735 (1991)		CP III	25, 32, 40	-	-	35% a 70%	0% a 5%
Cimento Portland Pozolânico NBR 5.736 (1991)		CP IV	25, 32	-	15% a 50%	-	0% a 5%
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial NBR 5.733 (1991)		CPV - ARI		-	-	-	0% a 5%
Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação NBR 13.116 (1994)				-	-	-	-
Cimento Portland Branco NBR 12.989 (1993)	Cimento Portland Branco Estrutural	CPB - E	25, 32, 40	-	-	-	-
	Cimento Portland Branco Não Estrutural	CPB		-	-	-	-
Cimento para Poços Petrolíferos NBR 9.831 (2006)		CPP		-	-	-	-

Fonte: ABCP (1997) (Adaptado pelos autores)

2.3 AGREGADOS

Segundo Falcão Bauer (2000), o agregado é um material particulado, não coesivo e que possui quase nula atividade química. O termo “agregado” tem um uso mais comum na tecnologia do concreto, sendo em outros ramos da construção civil designados diretamente pelos seus termos comerciais, como “brita”, “filler”, “rachão”, “areia”, etc..

Os agregados possuem basicamente 3 classificações (FALCÃO BAUER, 2000):

- Origem: naturais ou industrializados;
- Dimensões: miúdo ou graúdo;
- Peso específico aparente: leves, médios ou pesados.

2.3.1 Função dos Agregados

Os agregados são constituintes importantes do concreto. Segundo Falcão Bauer (2000), eles contribuem com 80% do peso e 20% do custo do concreto sem aditivo (considerando fck da ordem de 15 MPa).

Espera-se dos agregados uma correlação com as propriedades do concreto. De modo geral, os agregados naturais e os produzidos de rochas são possuem resistência à compressão muito superior aos valores obtidos com a argamassa de concretos usuais (fck entre 20 e 30 MPa). Porém, para concreto de alta resistência (fck da ordem de 70 MPa), os agregados podem possuir resistência insuficiente, com rompimento do concreto pela fratura desses, sendo, portanto, necessária uma atenção especial à escolha do agregado (FALCÃO BAUER, 2000).

Deve-se excluir agregados com baixa resistência à compressão, assim como aqueles que contenham impurezas, como a argila, que reduz a aderência dos grãos de areia (limita-se a 3% seu teor) ou matérias orgânicas, que prejudicam o endurecimento do concreto (FALCÃO BAUER, 2000).

A compactidade do agregado exprime a relação entre o volume total dos grãos e o volume do agregado e quanto maior a compactidade, maior a resistência à compressão e a durabilidade do concreto, sendo, portanto, uma importante característica para o preparo de um concreto de alta qualidade (FALCÃO BAUER, 2000).

Pelo fato de 80% da massa do concreto ser formada por agregado e ele ser o único componente que possui densidade variável, a sua massa específica absoluta tem reflexo direto sobre a massa específica do concreto final podendo este variar de 2400 kg/m³ (concreto tradicional) a 1000 kg/m³ (utilizando agregados leves) até 4500 kg/m³ (utilizando agregados pesados) (FALCÃO BAUER, 2000).

Levando-se em consideração a resistência ao fogo através do coeficiente de dilatação dos agregados, os agregados de calcário são menos afetados pelo fogo do que os de granito (coeficiente de dilatação cerca de 80% menor). O granito fissura-se acima de 500°C, enquanto o basalto, argila expandida e escória não se alteram com o calor. O concreto que possui alto fator agregado/cimento, em caso de incêndio, por exemplo, comporta-se melhor do que concretos com baixo fator. A condutividade térmica do concreto depende da composição mineralógica do agregado aumentando conforme a densidade deste último (FALCÃO BAUER, 2000).

Uma importante consideração que exerce influência direta na trabalhabilidade do concreto, é a granulometria do agregado escolhido, pois quanto menor esta granulometria, maior será a quantidade de água necessária para envolver os grãos do mesmo, formando uma película d'água responsável por uma boa

trabalhabilidade, porém esta quantidade não pode ser em excesso para não prejudicar a moldagem, a pega e a cura do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

2.3.2 Propriedades do concreto ligadas ao agregado

Resistência mecânica à compressão

A resistência mecânica à compressão do concreto é relacionada com fator água/cimento. A distribuição granulométrica do agregado deverá permitir uma mistura com máxima compacidade, porém compatível com a peça a concretar (neste caso, inclui-se os blocos estruturais) (FALCÃO BAUER, 2000).

Retração

Há influência do agregado sobre a retração do concreto, caso este tenha muitos finos (FALCÃO BAUER, 2000).

Durabilidade

O agregado não deverá conter componentes que possam reagir com os agentes a que o concreto estará exposto ou com o próprio cimento (FALCÃO BAUER, 2000).

Trabalhabilidade

Grãos cubóides permitem trabalhabilidade maior do que lamelares ou alongados. Para agregados muitos finos será necessário uma quantia maior de água de molhagem, aumentando assim a trabalhabilidade, porém prejudicando o fator água/cimento (FALCÃO BAUER, 2000).

Permeabilidade

Um agregado que possua muitos vazios pode permitir a permeabilidade de gases e líquidos para o interior do bloco. Terá também maior absorção de água

durante a produção do concreto, estando, portanto, a permeabilidade relacionada à compacidade da mistura. (FALCÃO BAUER, 2000).

2.3.3 Agregados utilizados nos blocos de concreto convencionais

A produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural ou de vedação é caracterizada pelo “concreto seco”, levemente umedecido para que haja fácil desmolde das fôrmas, o que necessita de máquinas vibro-prensa para que submetam os blocos a compressão e vibração que eliminam os espaços vazios. Estes concretos empregam uma umidade entre 6% e 8% (CADERNO TÉCNICO ALVENARIA ESTRUTURAL, 2010).

Segundo o Caderno Técnico Alvenaria Estrutural (2010), na produção de blocos há uma umidade ótima que elimina o maior número de vazios e proporciona melhor resistência. Concretos com pouca umidade possuem muitos vazios e produzem blocos mais fracos, pois não há hidratação completa do cimento. Já os concretos com muita umidade produzem blocos que ficam presos nas fôrmas e inviabilizam a produção. O gráfico 2.1 ilustra a situação de como a resistência mecânica à compressão do bloco de concreto aumenta com a relação água/cimento até atingir a umidade ótima e como a resistência mecânica à compressão do concreto tradicional diminui com o aumento da relação água cimento.

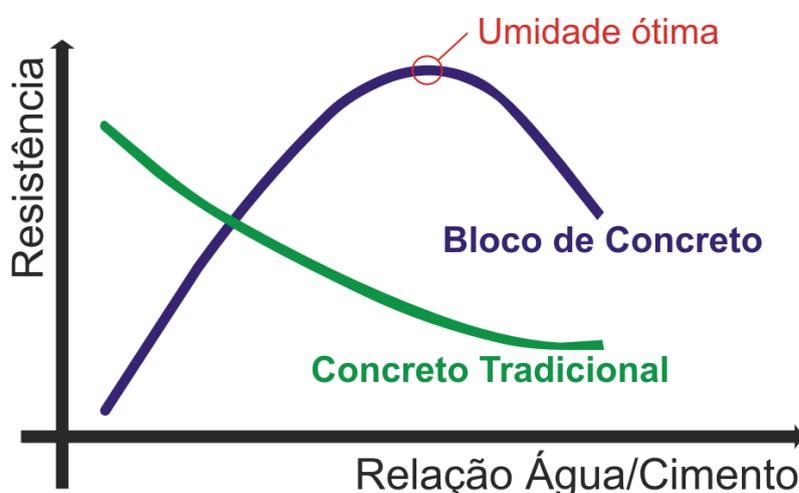


Gráfico 2.1– Relação A/C e resistência para concreto em blocos e concreto tradicional

Fonte: <[http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/](http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2010/07/06Materiais_AE_Humberto_Roman.pdf)

[uploads/2010/07/06Materiais_AE_Humberto_Roman.pdf](http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2010/07/06Materiais_AE_Humberto_Roman.pdf)> (Adaptado pelos autores)

As relações normalmente empregadas para a produção de blocos de concreto dentro da faixa especificada pela norma ABNT NBR 6136/2007 variam entre 1:6 e 1:14 (cimento:agregados).

2.3.4 Agregados leves

Os agregados leves são materiais que possuem densidade inferior aos convencionais. O principal motivo para que isto ocorra é o fato de possuírem estrutura porosa. Segundo Freire e Beraldo (2003) é possível dar uma visão geral destes materiais a partir de sua forma de obtenção:

- Naturais sem tratamento: coral, pedra-pomes, piroclastos, escórias vulcânicas, tufo calcário, etc..
- Naturais manufacturados: vermiculita esfoliada, argila expandida, diatomita expandida, obsidiana expandida, perlita expandida, folhelho expandido, etc..
- Resíduo industrial processado: escórias expandida, espumosa e granulada, lodo de esgoto sinterizado, lama vermelha sintetizada, etc..
- Materiais orgânicos: partículas de materiais plásticos, resíduos de cereais, partículas de madeira, fibras de madeira, etc..

Argila expandida

Material oriundo da propriedade de piroexpansão da argila, na qual ocorre a formação de gases quando aquecida a temperaturas da ordem de 1000°C, a argila expandida possui algumas características que possibilitam seu uso na construção civil, principalmente para diminuição de peso de estruturas ou isolamento termo-acústico. Apresenta, basicamente, os elementos químicos silício, alumínio e ferro, em sua composição e é resistente ao fogo e aos principais ambientes ácidos e básicos (NEVILLE, 1997).

No Brasil, a matéria-prima para a argila expandida é retirada do Recôncavo Baiano e produzida por um único fabricante (Cinexpan), em Várzea Paulista, São Paulo, através de fornos rotativos. Na Tabela 2.7 são apresentadas algumas características da argila expandida.

TABELA 2.7 – CARACTERÍSTICAS DA ARGILA EXPANDIDA

Tipo	Dimensões (mm)	Agregado equivalente em dimensão	Massa unitária (kg/m ³)	Massa específica (kg/m ³)	Absorção de água em 24 horas (%)
2215	16 - 22	Brita 1	500	700	10
1506	6 – 15	Brita 0	600	1100	7
0500	0,5 – 5	Areia grossa	900	1500	6

Fonte: ROSSIGNOLO, J.A. & AGNESINI, M.V.C – Características da argila expandida (Adaptado pelos autores)

Segundo Neville (1997), concretos feitos com agregado de argila geralmente têm resistências maiores do que com outros agregados leves.

Por meio de traços sugeridos aos clientes pela Cinexpan, é possível com a argila expandida tipo 1506 alcançar no concreto a resistência de 17 MPa (densidade aproximada de 1700 kg/m³) e com a tipo 0500 juntamente da 1506, alcança-se resistência de 20 MPa (densidade aproximada de 1630 kg/m³).

Em Curitiba encontra-se no comércio o saco da argila expandida 1605 (50 litros) a R\$ 16,50 ou R\$ 330,00 /m³. Já em Varzea Grande, região da produção do material, é possível comprar a granel, ao preço de R\$ 162,00 /m³.



Figura 2.4 – Imagem aérea da fábrica da Cinexpan

Fonte: CINEXPAN



Figura 2.5 – Argila expandida 1506

Fonte: MAYCÁ et al. (2008)



Figura 2.6 – Argila expandida 2215

Fonte: MAYCÁ et al. (2008)

Maycá et al. (2008) analisaram a resistência à compressão aos 28 dias, conforme recomendações da norma ABNT NBR 5739/2007 e tomando o maior valor de resistência, com traços de 1:3, 1:4 e 1:5 (cimento : areia) e adição de 20% a 40% de argila expandida (dos tipos 1506 e 2215), além de aditivo plastificante polifuncional, de pega normal, em um teor de 0,5% sobre a massa do cimento, obteve valores entre 10,8 MPa, para traço 1:5 com adição de 40% de argila expandida, e 32 MPa para o traço 1:3, com 30% de adição de argila expandida. Sua massa específica se manteve na ordem de 1600 kg/m³. Em sua análise, alcançou para concretos com fins estruturais (acima de 20 MPa) o consumo inferior a 250 kg de cimento por m³ de concreto.

Vermiculita expandida

A vermiculita é um mineral composto de ferro-alumínio-magnésio hidratados e lamelares. Possui uma estrutura semelhante à mica e quando sofre elevação de temperatura perde água intersticial, o que faz com que as lâminas expandirem ou esfoliarem em partículas semelhantes a vermes (daí o aspecto *vermiculare*, termo do latim do qual deriva sua denominação), transformando o material em um floco sanfonado com ar prisionado, o que lhe dá a propriedade termo-acústica. O material é inodoro, incombustível, imputrescível, não deteriorável e não alergênico, além de possuir estabilidade química e não conter elemento tóxico, tampouco amianto em sua composição. (BRASIL MINÉRIOS, 2011). As características típicas da vermiculita expandida são apresentadas no quadro 2.8

Quadro 2.8 – Características da vermiculita

Cor	Claro e marrom
Massa unitária (1)	60-160kg/m ³
Umidade a 110°C	6 - 9%
pH em água a 25°C	6 – 8
Ponto de fusão	1200 – 1300°C
Capacidade de retenção de água (CRA)	200 – 600%
Combustibilidade	Não combustível

Fonte: Brasil Minérios – Características típicas da vermiculita expandida (2011)

Nota: (1) Variável de acordo com a granulometria

Seu uso no Brasil ainda é pouco difundido, devido suas aplicações na construção civil geralmente ocorrerem em enchimentos de pisos ou isolamento termo-acústico. Segundo informações do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), com dados da *United States Geological Survey (USGS): Mineral Commodity Summaries 2010*, o Brasil figura como o 5º maior produtor em 2009, com cerca de 22700 t produzidas (84,4% concentrado em Goiás), porém a produção reduziu 21,7% em relação ao ano anterior, devido à uma mina no Piauí ter sido exaurida. A África do Sul é responsável por 39% da produção mundial (220.000 t em 2009).



Figura 2.7 - Mina de extração de vermiculita da Brasil Minérios
Fonte: BRASIL MINÉRIOS



Figura 2.8 – Vermiculita expandida
Fonte: BRASIL MINÉRIOS



Figura 2.9 - Regularização de laje com uso da vermiculita
Fonte: BRASIL MINÉRIOS

O material é vendido comercialmente em sacos com 100 litros. Não há muitas empresas na Grande Curitiba que comercializam o produto, mas é possível encontrar o saco de 100 litros a R\$ 29,30 (R\$ 293,00 /m³), o que para efeito de comparação é cerca de 600% mais caro que o equivalente em areia na região. Em Goiânia, próximo de onde concentram-se as reservas, o saco de 100 litros é comercializado a R\$ 15,90 (R\$ 159,00 /m³), o que torna o produto 300% mais caro que a areia, tendo em vista que o preço da areia está atualmente equivalente em ambas as cidades.

Segundo a empresa Brasil Minérios (2011), mantendo-se a atual tendência de consumo, “a empresa terá condições de atender a demanda nacional por 50 anos e exportar volumes significativos”.



Figura 2.10: Saco comercial de 100 litros de vermiculita expandida
Fonte: CALDESUL

Segundo Alves (1986), em sua conclusão sobre a vermiculita como agregado para concreto, atesta-se uma grande versatilidade na construção civil, sendo a aplicação em concreto estrutural, até então, inédita. Em sua análise granulométrica concluiu para um módulo de finura 2,90, que o material pode ser utilizado em concretos leves. Utilizando de uma mistura de traço cimento : vermiculita : água, obteve para o traço 1:0,3:0,806 a resistência à compressão de 6,13 MPa a 28 dias. Já fundamentado pela substituição de parte da areia, em volume, por vermiculita, obteve até 28 MPa substituindo 70% do agregado miúdo pelo material, considerando traço convencional de 1:1,44:2,56 e A/C de 0,50.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentadas as etapas do programa experimental desenvolvido nesta pesquisa, bem como os materiais e métodos utilizados.

Como evidenciado no decorrer trabalho, foram aplicados métodos de ensaio baseados em normas Brasileiras.

Em função das características da pesquisa, o programa experimental foi dividido em 3 Fases, abaixo descritas:

1ª Fase - Estudo da dosagem para produção de blocos pré-moldados de concreto em fábrica e definição do traço de referência;

2ª Fase - Estudo de dosagens para substituições dos agregados convencionais no traço de concreto para produção de blocos estruturais com Vermiculita Expandida e Argila Expandida;

3ª Fase - Produção dos blocos protótipos em fábrica e análise de desempenho;

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Aglomerante

Como aglomerante, em toda a pesquisa, foi utilizado o Cimento Portland, tipo CPV ARI RS, (Alta Resistência Inicial – Resistente a Sulfatos, conforme norma ABNT NBR 5733/1991 – Cimento Portland de alta resistência inicial), por ser o tipo de cimento mais utilizado para a produção de artefatos de concreto na região.

Nas Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3, são apresentadas as características químicas e físicas e a composição normalizada do cimento CPV ARI RS, informadas pelo fabricante.

TABELA 3.1 – COMPOSIÇÃO DO CIMENTO CPV-ARI-RS.

Tipo de Cimento	Sigla	Composição (% em massa)			Especificação Técnica
		Clinker +CaSO ₄	Material Carbonático	Adição Mineral	
Alta Resistência Inicial Resistente a Sulfatos	CPV ARI RS	75% a 85%	0% a 5%	-	NBR 5.735 (1991)

Fonte: Norma ABNT NBR 5733/1991 Adaptado pelos autores

TABELA 3.2 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO CIMENTO CPV-ARI-RS.

Composição Química (%)									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	CaO Livre	Alcalis Totais	Resíduo Insolúvel	Perda ao Fogo
22,43	6,34	3,17	54,08	4,89	3,10	1,65	0,73	11,93	3,75

Fonte: Cia. De Cimento Itambé Adaptado pelos autores

TABELA 3.3 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CIMENTO CPV-ARI-RS

Características Físicas						
Blaine (cm ² /g)	Massa Específica (g/cm ³)	Início de Pega (h:min)	Fim de Pega (h:min)	Finura # 200 (%)	Finura # 375 (%)	Expansibilidade (mm)
4.957	3,12	2:05	2:55	0,16	1,26	0,53

Fonte: Cia. De Cimento Itambé Adaptado pelos autores

As resistências mínimas a compressão do cimento CPV ARI RS, de acordo com a norma ABNT NBR 5733/1991, são apresentadas na Tabela 3.4.

TABELA 3.4 – RESISTÊNCIA MÍNIMA À COMPRESSÃO DO CIMENTO CPV-ARI-RS

Resistência Mínima à Compressão (MPa)		
RC 1 dia	RC 3 dias	RC 7 dias
11,00	24,00	34,00

Fonte: Norma ABNT NBR 5733/1991 Adaptado pelos autores

3.1.2 Agregados

Este trabalho foi limitado ao estudo de dois agregados que se mostram eficientes para alcançar resistência e leveza no concreto, sendo eles a argila expandida e a vermiculita expandida, devido à reduzida massa específica e boa resistência à compressão.

Agregado Miúdo Convencional

O agregado miúdo mineral utilizado nesta pesquisa foi a areia média fina fornecida pela fábrica de blocos Kaue.

Agregado Miúdo Leve

O agregado miúdo leve utilizado nesta pesquisa foi a vermiculita expandida com módulo de finura 2,90 com características apresentadas na revisão da literatura deste trabalho, produzida pela Brasil Minérios.

Agregado Graúdo Convencional

O agregado graúdo mineral utilizado nesta pesquisa foi a brita 0 fornecida pela fábrica Kaue.

Agregado Graúdo Leve

O agregado graúdo leve utilizado nesta pesquisa foi a argila expandida tipo 1506 produzida pela Cinexpan, com características apresentadas na Tabela 2.7: Características da argila expandida.

3.1.3 Água de Amassamento

Foi utilizada água potável, da rede de abastecimento da Companhia de Saneamento do Paraná - Sanepar.

3.2 MÉTODOS

1ª Fase - Estudo Preliminar – Estudo da dosagem para produção de blocos pré-moldados de concreto em fábrica para determinação do traço de referência;

Para determinação do traço de referência foi utilizado o método da ABCP que se baseia no proporcionamento experimental entre os agregados que resulte na maior resistência a compressão possível.

O bloco de referência adotado nesta pesquisa é da família 39, com as dimensões de (14x19x39) cm.

Foram executados 24 blocos em fábrica com traços e quantidades pré-determinados conforme Tabela 3.5.

TABELA 3.5 – DETERMINAÇÃO DO TRAÇO DE REFERÊNCIA

Ensaio/traço	1:4	1:6	1:8	1:10	Total de blocos
$f_{bk,7}$	6	6	6	6	24

Fonte: Autoria própria

Os blocos produzidos na fábrica Kaue, em São José dos Pinhais foram ensaiados a compressão na prensa disponível no laboratório de Materiais de Construção da UTFPR.

Com os resultados deste ensaio foi possível determinar traço de referência para o bloco atingir função estrutural conforme a norma ABNT NBR 6136/2007.

2ª Fase - Estudo de dosagens para substituições dos agregados convencionais no traço de concreto para produção de blocos estruturais com Vermiculita Expandida e Argila Expandida

Foi utilizado o método fatorial fracionado com superfície de resposta para determinação do traço ótimo com a substituição dos agregados no concreto. Este método é o mais viável, pois diminui o número de amostras a serem produzidas e ensaiadas e permite chegar ao resultado desejado com muita precisão e principalmente com economia de material e tempo (menos repetições de ensaios e menor número de amostras). Os resultados obtidos em laboratório sofreram um tratamento estatístico por meio de um *software* de inferência (utilizado o Infer[®] 3) resultando em uma equação com as variáveis sendo proporção de argila expandida e vermiculita expandida que foi resolvida no Solver do Excel, resultando na maior substituição dos agregados para o bloco atingir as características esperadas (resistência à compressão, índice de vazios, absorção de água e massa específica). Com esta equação, também foi possível gerar gráficos de Superfície de Resposta no

software Estatística, (como exemplo a Figura 3.1) e visualizar o comportamento destas características em função das proporções de agregados leves.

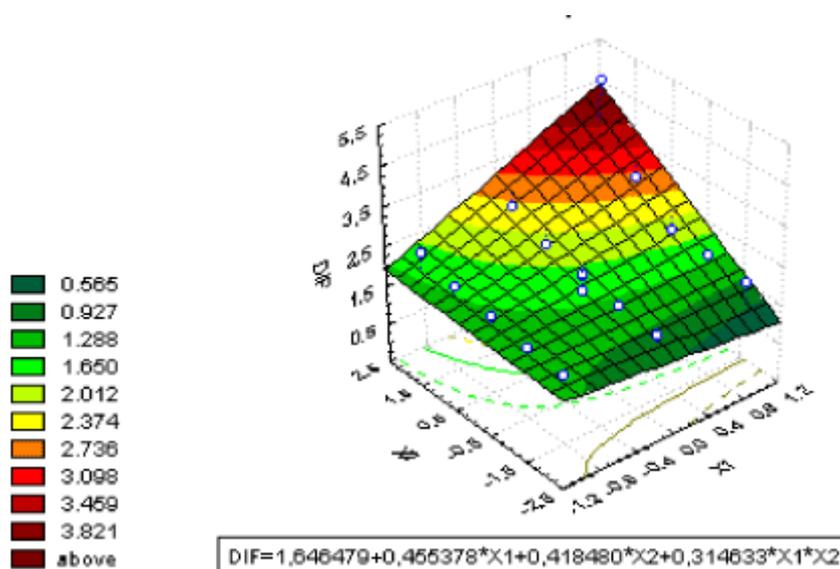


Figura 3.1: Exemplo de Superfície de Resposta

Fonte: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010120612001000200016&script=sci_arttext>

Foram confeccionados 8 blocos com o traço de referência e 32 blocos com substituições dos agregados graúdos e miúdos nas proporções de 50% e 100% (8 de cada proporção) conforme Figura 3.2. Para os testes de mecânicos (resistência mecânica à compressão) foram utilizados 6 blocos de cada proporção e para os testes físicos (massa específica, índice de vazios e absorção de água) foram utilizados 2 blocos de cada proporção.

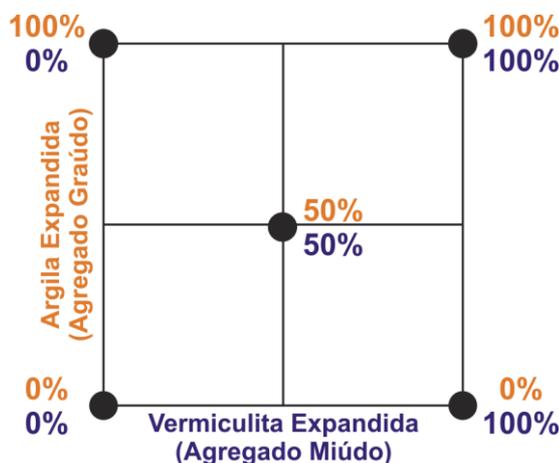


Figura 3.2: Esquema de frações de substituição dos agregados
Fonte: Autoria própria

3ª Fase - Produção dos blocos protótipos em fábrica e análise de desempenho

Após determinação do traço ótimo, era necessária a produção dos blocos protótipos em fábrica, porém a fábrica Kaue que forneceu materiais e equipamentos nas 2 primeiras fases da pesquisa não liberou a produção dos protótipos devido ao grande número de pedidos que eles estavam atendendo. Não foram procuradas outras empresas para fabricação dos protótipos, pois a mudança de equipamentos a serem utilizados poderia proporcionar distorções não desejadas nos resultados. Para análise de desempenho conforme requisitos da norma ABNT NBR 6136/2007, foi então utilizado o mesmo método de tratamento estatístico fatorial fracionado, com as amostras produzidas na 2ª fase da pesquisa, não utilizadas no teste de resistência à compressão.

As características físicas verificadas foram a absorção de água, índice de vazios e massa específica. Foram esperados resultados dentro das tolerâncias apresentadas na Tabela 2.1.

4 RESULTADOS

4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os blocos produzidos na fábrica Kaue foram ensaiados à compressão na prensa do laboratório de Materiais de Construção da UTFPR como mostrado na Figura 4.1, após a cura de 7 dias. Os blocos ficaram imersos em água por 24h para total saturação, pois é a pior situação para realização do ensaio.



Figura 4.1: Ensaio de resistência à compressão do bloco convencional
Fonte: Autoria própria

Foram eliminadas as amostras identificadas em cinza na Tabela 4.1, pois estas aumentavam o desvio padrão calculado e conseqüentemente o coeficiente de variação de cada traço analisado, prejudicando a confiabilidade do ensaio. Pode-se verificar que os coeficientes de variação (CV) das amostras resultaram uma média aceitável de 9,46%. Com este coeficiente de variação médio de 9,46%, pôde ser calculado com a Equação 1 que 4 unidades de cada traço são a amostra mínima para se ter confiabilidade nos ensaios de resistência à compressão.

Equação (1) – Amostra mínima

$$[\text{Amostra mínima (unidade} = (1,96)^2 \times (\text{CV médio})^2)/100$$

TABELA 4.1 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (R_{cd}) DOS BLOCOS PRODUZIDOS

TRAÇO	DIMENSÕES cm	RESISTÊNCIA MPa	Corpo de Prova	Média MPa	Desvio Padrão (Sd) MPa	Coef. Variação %
1:4	14x38,7	8,74	1	8,33	0,55	6,55%
1:4	14x38,7	7,55	2			
1:4	14x38,7	8,32	15			
1:4	14x38,7	8,10	16			
1:4	14x38,7	8,93	18			
1:4	14x38,7		19			
1:6	14x38,7	5,72	7	6,06	0,54	8,98%
1:6	14x38,7	6,31	9			
1:6	14x38,7		11			
1:6	14x38,7	5,47	14			
1:6	14x38,7	6,86	20			
1:6	14x38,7	5,93	23			
1:8	14x38,7	4,18	3	4,22	0,27	6,34%
1:8	14x38,7	4,59	6			
1:8	14x38,7		8			
1:8	14x38,7	3,96	10			
1:8	14x38,7		12			
1:8	14x38,7	4,13	24			
1:10	14x38,7		4	3,36	0,54	15,97%
1:10	14x38,7	3,88	5			
1:10	14x38,7	2,61	13			
1:10	14x38,7	3,43	17			
1:10	14x38,7	3,52	21			
1:10	14x38,7		22			

Fonte: Autoria própria

Com o resultado deste ensaio foi possível determinar que o traço 1:8 já é adequado para o bloco atingir função estrutural conforme a norma ABNT NBR 6136/2007, porém para blocos de concreto para paredes internas e externas com revestimento, a resistência mínima à compressão segundo a norma supracitada é 4,5 MPa. Para atender o menor coeficiente de variação do ensaio e a resistência igual ou maior que 4,5 MPa, o traço de referência adotado no trabalho foi 1:4.

Após determinação do traço de referência 1:4, foram produzidos na fábrica Kaue, 8 blocos de cada teor de substituição apresentado na Figura 3.2, totalizando 40 blocos.

Para o ensaio de resistência mecânica à compressão foram imersos em água por 24h para saturação total, 6 blocos de cada teor. As Figuras 4.2 e 4.3 foram feitas durante a realização do ensaio de resistência à compressão dos blocos de misturas de agregados com 7 dias de idade.



Figura 4.2: Ensaio de resistência à compressão do bloco de mistura B
Fonte: Autoria própria



Figura 4.3: Bloco de mistura E: 100% vermiculita e argila
Fonte: Autoria própria

Nos resultados obtidos apresentados na Tabela 4.2 já foram eliminados os valores que aumentavam os coeficientes de variação de cada mistura, respeitando a quantidade mínima calculada de 4 amostras por mistura experimentada.

TABELA 4.2 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (RC7d) DOS BLOCOS COM SUBSTITUIÇÃO DOS AGREGADOS CONFORME TEORES PRÉ-ESTABELECIDOS

Teores de Substituição (%)								
Cimento	Areia	Brita	Vermiculita	Argila Expandida	Corpo de Prova	Mistura	Dimensões (cm)	Resistência (MPa)
1	2	2	0%	0%	2	A	14x38,7	8,74
1	2	2	0%	0%	7	A	14x38,7	7,55
1	2	2	0%	0%	13	A	14x38,7	8,32
1	2	2	0%	0%	23	A	14x38,7	8,10
1	2	2	0%	0%	29	A	14x38,7	8,93
1	2	2	0%	0%	30	A	14x38,7	
1	0	2	100%	0%	10	B	14x38,8	0,62
1	0	2	100%	0%	12	B	14x38,8	0,84
1	0	2	100%	0%	16	B	14x38,9	0,74
1	0	2	100%	0%	17	B	14x38,8	0,60
1	0	2	100%	0%	22	B	14x38,8	
1	0	2	100%	0%	28	B	14x38,8	0,75
1	2	0	0%	100%	5	C	14x38,8	6,02
1	2	0	0%	100%	9	C	14x38,8	9,03
1	2	0	0%	100%	19	C	14x38,8	
1	2	0	0%	100%	24	C	14x38,8	
1	2	0	0%	100%	25	C	14x38,8	8,32
1	2	0	0%	100%	27	C	14x38,9	9,19
1	1	1	50%	50%	1	D	14x38,8	2,08
1	1	1	50%	50%	15	D	14x38,8	1,93
1	1	1	50%	50%	18	D	14x39	1,83
1	1	1	50%	50%	20	D	14x38,8	
1	1	1	50%	50%	21	D	14x38,7	1,96
1	1	1	50%	50%	26	D	14x38,8	
1	0	0	100%	100%	3	E	14x38,9	0,52
1	0	0	100%	100%	4	E	14x38,8	0,62
1	0	0	100%	100%	6	E	14x38,8	
1	0	0	100%	100%	8	E	14x38,8	0,59
1	0	0	100%	100%	11	E	14x38,9	0,51
1	0	0	100%	100%	14	E	14x38,7	

Fonte: Autoria própria

As resistências obtidas no ensaio, apresentadas na tabela acima, foram inseridas no *software* de inferência estatística Infer[®] 3 para obtenção da Equação (2) da resistência em função das proporções de agregados leves.

Equação (2) - Modelo para a Variável Dependente

$$[RC7d \text{ (MPa)}] = (2,0433 - 0,11514 \times [\text{Vermiculita (\%)}]^{1/2} - 5,1313 \times 10^{-8} \times [\text{Arg Expandida (\%)}]^3)^3$$

Analisando os resultados do tratamento estatístico, o *software* classificou a correlação obtida de 0,9941, como fortíssima, ou seja, a equação se aproximou muito dos resultados obtidos em laboratório, sendo que nenhum dos resultados foi eliminado no tratamento para formação da equação do modelo.

Com a equação (2) foi gerado o Gráfico 4.1 de Superfície de Resposta no *software* Statistica que mostra a relação da resistência à compressão com as proporções de argila expandida e vermiculita expandida.

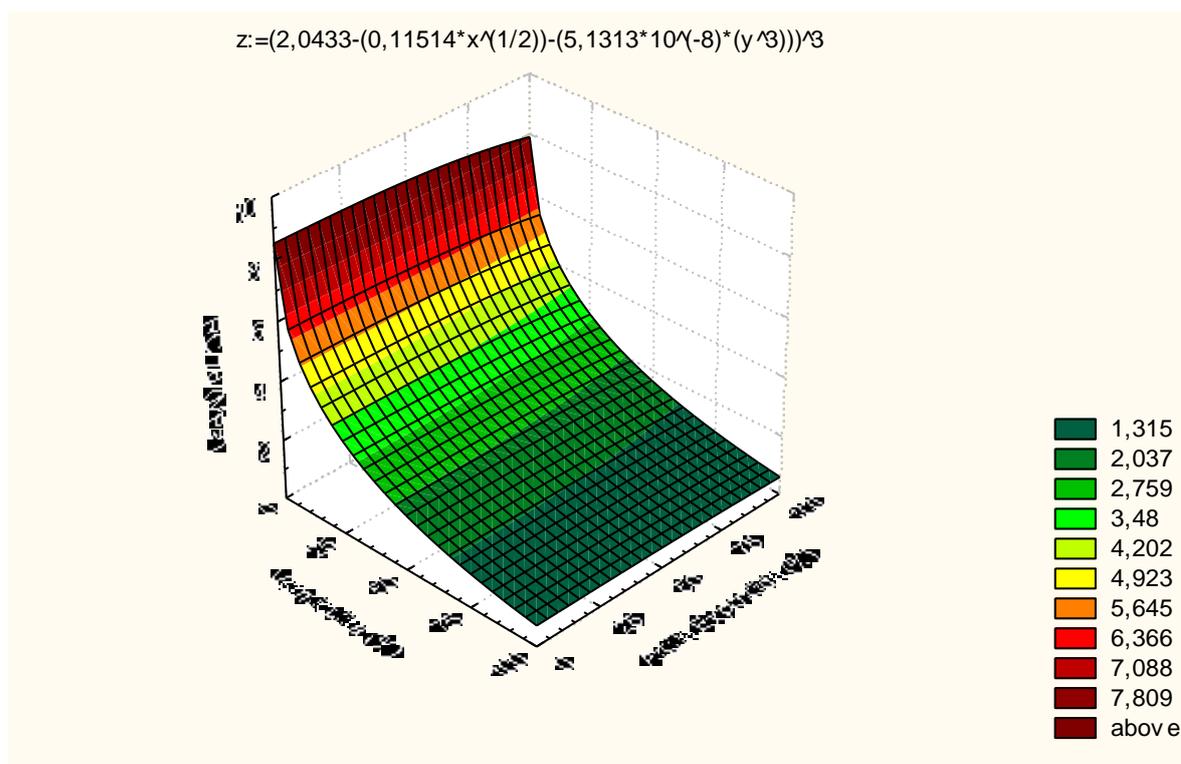


Gráfico 4.1: Superfície de Resposta para o modelo de resistência à compressão
Fonte: Autoria própria

Como a resistência à compressão determinada é de 4,5 MPa, foi resolvido no Solver do *software* Excel a Equação (2) e a proporção ótima para esta resistência ficou com substituição total (100%) da brita pela argila expandida e substituição de 8,77% da areia por vermiculita expandida.

4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Os blocos com as proporções apresentadas na Figura 3.2, produzidos na fábrica Kaue, em São José dos Pinhais, foram ensaiados no laboratório de Materiais de Construção da UTFPR conforme orientações da norma ABNT NBR 9778/2005 utilizando balança e estufa e os resultados obtidos são apresentados na tabela 4.3.

TABELA 4.3 – RESULTADOS DOS ÍNDICES FÍSICOS

Cimento	Areia	Brita	Vermiculita Expandida	Argila Exp.	Bloco	Massa Saturada (kg)	Massa Bloco Imerso (kg)	Massa Bloco Seco (kg)	Índice de Vazios	Absorção de Água	Massa Específica
1	2	2	0	0	A1	13,939	7,88	13,36	9,56%	4,33%	2,2049843
1	2	2	0	0	A2	13,838	7,931	13,37	7,92%	3,50%	2,2634163
1	0	2	100%	0	B1	9,775	5,034	8,87	19,09%	10,20%	1,8709133
1	0	2	100%	0	B2	9,194	4,614	8,065	24,65%	14,00%	1,760917
1	2	0	0	100%	C1	11,192	5,207	10,68	8,55%	4,79%	1,7844612
1	2	0	0	100%	C2	10,107	4,604	9,54	10,30%	5,94%	1,7335999
1	1	1	50%	50%	D1	9,1	3,965	8,295	15,68%	9,70%	1,6153846
1	1	1	50%	50%	D2	9,092	4,067	8,205	17,65%	10,81%	1,6328358
1	0	0	100%	100%	E1	6,191	1,215	5,31	17,70%	16,59%	1,0671222
1	0	0	100%	100%	E2	6,35	1,277	5,46	17,54%	16,30%	1,0762862

Fonte: Autoria própria

Os resultados obtidos no ensaio foram inseridos no *software* de inferência estatística Infer[®] 3 para obtenção dos resultados apresentados nos itens 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3, de índice de vazios, absorção de água e massa específica em função das proporções de agregados leves. As correlações dos três modelos foram fortíssimas, produzindo uma grande confiabilidade nos resultados. Os resultados fornecidos pelo *software* encontram-se nos anexos.

4.2.1 Índice de Vazios

Resolvendo a equação (3) com a proporção ótima calculada para ser obtida resistência de 4,5 MPa (100% de argila expandida e 8,77% de vermiculita expandida) o índice de vazios esperado para o bloco protótipo é de 12,02%. A correlação do modelo foi classificada como fortíssima (0,96), produzindo uma grande confiabilidade do modelo.

Equação (3) - Modelo para a Variável Dependente

$$[\text{Índice de Vazios (\%)}] = 1 / (0,3302 - 2,2982 \times 10^{-2} \times [\text{Verm. (\%)}]^{1/3} + 5,6017 \times 10^{-9} \times [\text{Arg. Exp. (\%)}]^3)^2$$

Com a equação (3) foi gerado o gráfico 4.2 de Superfície de Resposta no *software* Statistica que mostra a relação do índice de vazios com as proporções de argila expandida e vermiculita expandida.

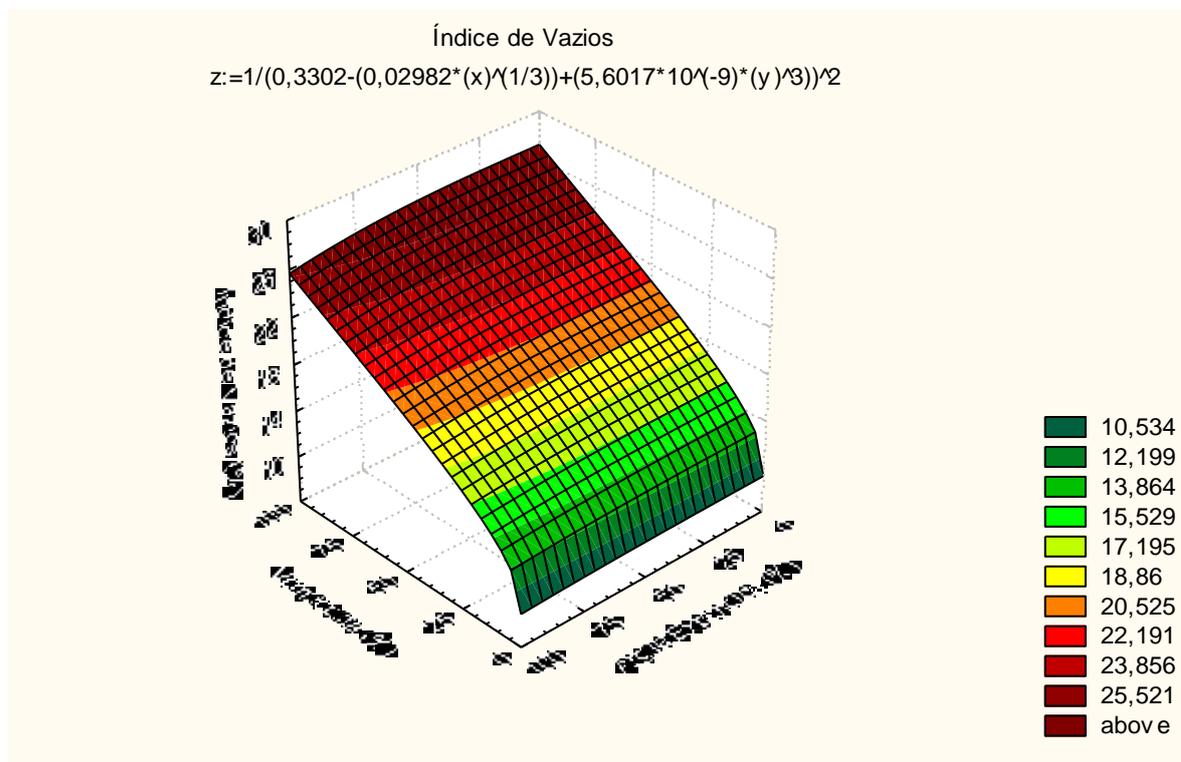


Gráfico 4.2: Superfície de Resposta para o modelo de índice de vazios
Fonte: Autoria própria

4.2.2 Absorção de Água

Resolvendo a Equação (4) com a proporção ótima calculada para ser obtida resistência de 4,5 MPa (100% de argila expandida e 8,77% de vermiculita expandida) a absorção de água esperada para o bloco protótipo é de 9,30%. A correlação do modelo foi de 0,9809, sendo classificada como fortíssima.

O resultado obtido torna o bloco com a substituição proposta aceitável, perante a norma ABNT NBR 6136/2007 que prevê a absorção de água máxima de 16% para blocos de concreto Classe C com agregados leves.

Equação (4) - Modelo para a Variável Dependente

$$[\text{Absorção (\%)}] = (1,5526 + 0,16229 \times [\text{Vermiculita (\%)}]^{1/3} + 2,1603 \times 10^{-7} \times [\text{Arg. Expandida (\%)}]^3)^3$$

Com a Equação (4) foi gerado o gráfico 4.3 de Superfície de Resposta no *software* Statistica que mostra a relação da absorção de água com as proporções de argila expandida e vermiculita expandida.

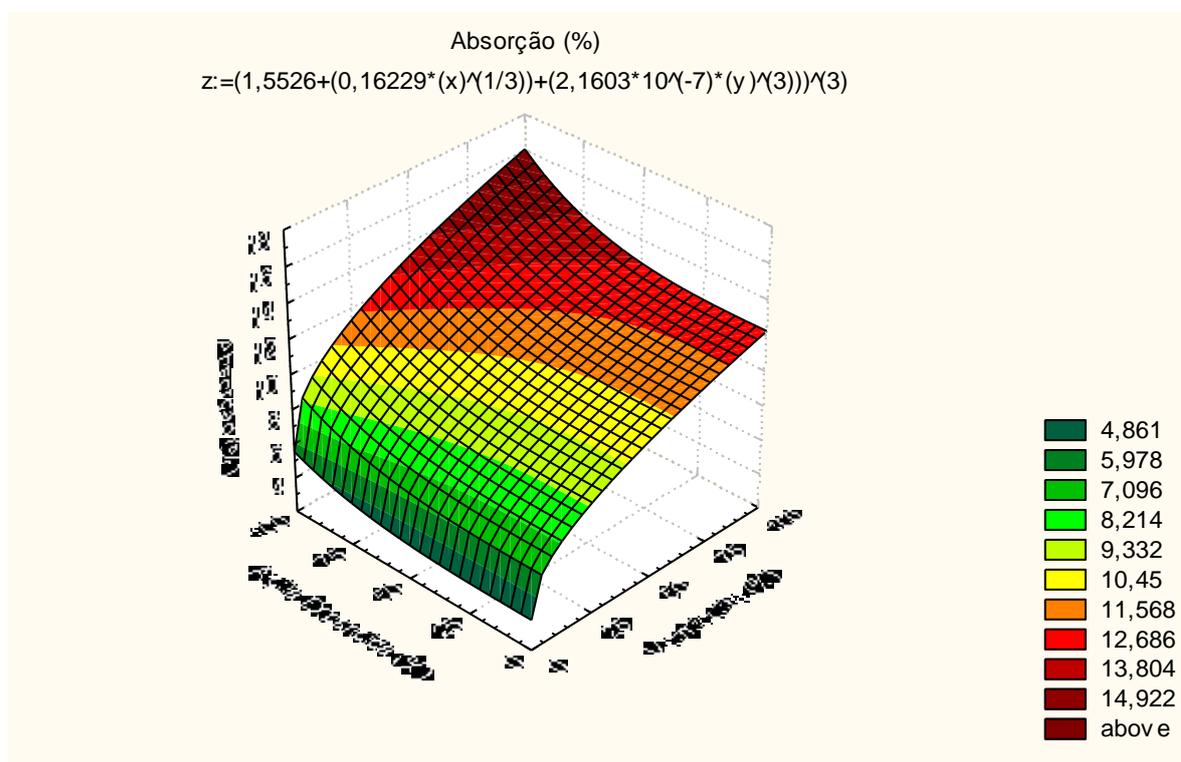


Gráfico 4.3: Superfície de Resposta para o modelo de absorção de água
 Fonte: Autoria própria

4.2.3 Massa Específica

Resolvendo a equação (5) com a proporção ótima calculada para ser obtida resistência de 4,5 MPa (100% de argila expandida e 8,77% de vermiculita expandida) a massa específica esperada para o bloco protótipo é de 1493,22 kg/m³. A correlação do modelo foi de 0,9946, sendo classificada como fortíssima.

O resultado obtido torna a massa específica do bloco proposto cerca de 33,6% menor que a massa específica estimada pelo modelo para blocos de concreto com traço 1:4 feitos com agregados convencionais (brita 0 e areia).

Equação (5) - Modelo para a Variável Dependente

$$[\text{Massa Esp (kg/m}^3)] = (5058999 - 390112 \times [\text{Vermiculita (\%)}]^{1/3} - 20248 \times [\text{Arg. Expandida (\%)}])^{1/2}$$

Com a equação (5) foi gerado o gráfico 4.4 de Superfície de Resposta no *software* Statistica que mostra a relação da massa específica com as proporções de argila expandida e vermiculita expandida.

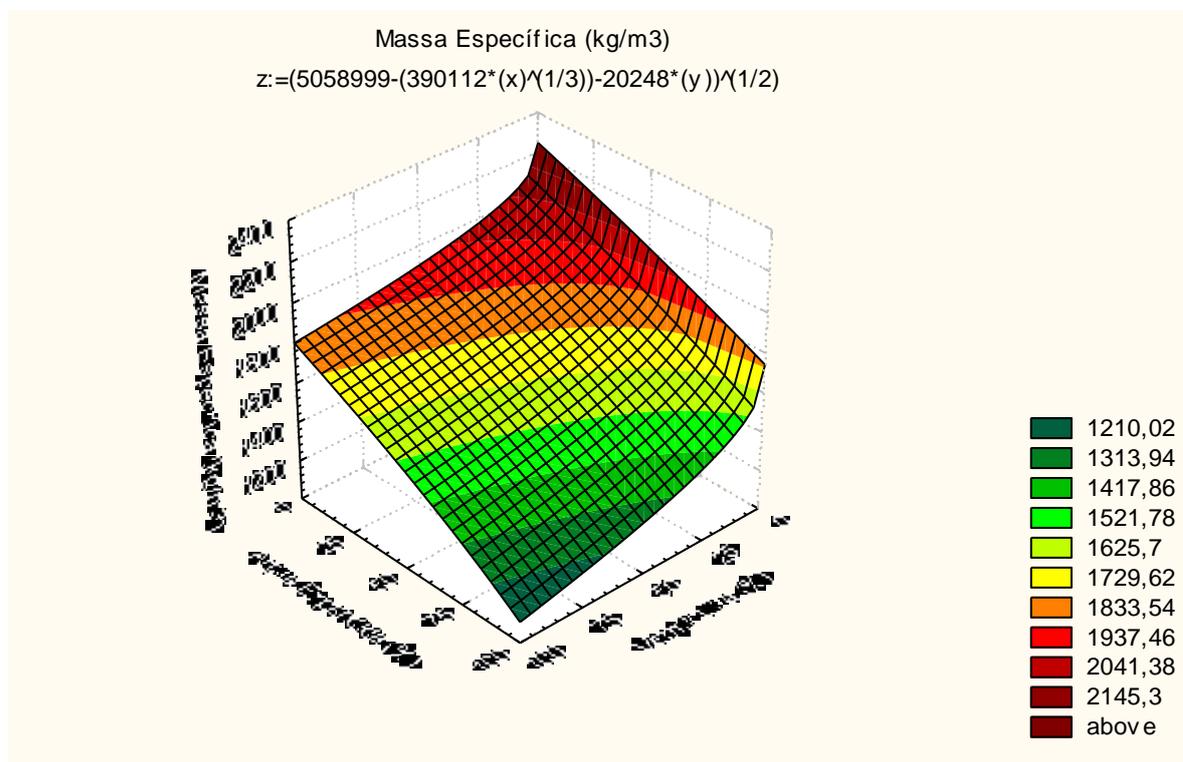


Gráfico 4.4: Superfície de Resposta para o modelo de Massa Específica
 Fonte: Autoria própria

4.3 AVALIAÇÃO TÉCNICA

Com as resistências mecânicas à compressão dos blocos com proporções de argila expandida e vermiculita expandida foi possível determinar através de tratamento estatístico que a substituição ideal dos agregados convencionais pelos agregados leves de forma a reduzir a massa específica e atingir a resistência à compressão de 4,5 MPa foi de 100% da brita 0 por argila expandida 1506 e 8,77% da areia média fina por vermiculita expandida.

O traço proposto gerou uma expectativa de resultados aceitáveis conforme norma ABNT NBR 6136/2007 para absorção de água e índice de vazios, além de redução da massa específica do bloco de concreto em 33,6% em relação ao convencional.

4.4 VIABILIDADE ECONÔMICA

4.4.1 Bloco Estrutural de Concreto

Os blocos estruturais de concreto mais comercializados (14x19x39) cm possuem custo aproximado de insumos para produção de R\$ 0,73 (desconsiderando custos operacionais da fábrica, mão-de-obra, impostos, fretes, administração, etc.) através do traço 1:5 (sendo 1 cimento: 3 areia: 2 brita). O Gráfico 3.1 ilustra os custos de insumos na produção do bloco com traço 1:5.

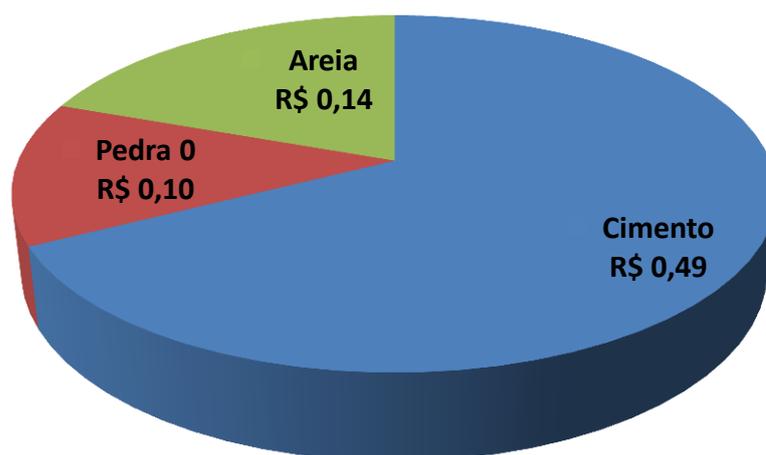


Gráfico 4.5: Custo de insumos para produção de 1 bloco estrutural 14x19x39
Fonte: Autoria própria

Blocos estruturais “Classe C (14x19x39) cm” são vendidos pelas empresas entre R\$ 1,70 e R\$ 2,10. Para se obter 1m² de alvenaria (13,5 unidades), será gasto entre R\$ 21,25 e R\$ 26,25 com blocos.

O preço de venda não difere muito no que diz respeito à venda através de pequenos ou grandes fabricantes, porém vale salientar que fábricas com selo de certificação da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) possuem maior controle tecnológico e são as fornecedoras das grandes empresas, devida a maior confiabilidade do produto.

Estas fábricas maiores também possuem competitividade por conseguirem através de máquinas de maior porte de compactação um consumo menor de cimento.

Fábricas com menor controle tecnológico tendem a ter um mercado menor e não possuem aceitação em obras de maior responsabilidade.

4.4.2 Bloco de Concreto Celular

O bloco de concreto celular não tem função estrutural, porém é o único bloco de concreto leve que é comercializado. É uma peça com dimensões comerciais (30x60) cm, sendo sua espessura variável entre 7,5 cm e 20 cm, é apresentado na Figura 4.4. Sua característica mais conhecida é seu peso reduzido. Por exemplo, para executar 1 m² em sua espessura de 7,5 cm, são necessárias 5,6 peças o que totaliza 45 kg/m² (em torno de 40% do peso de um bloco de concreto tradicional).

O valor de venda varia de R\$ 4,00 a R\$ 8,00 cada peça, dependendo da espessura. Uma espessura usual, como a de 10 cm, é vendida a R\$ 5,60 a peça em uma grande loja de materiais de construção, o que fornece o custo de R\$ 31,36 /m².

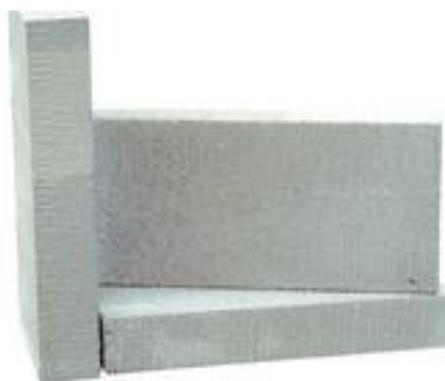


Figura 4.4.: Bloco celular 30x60x10
Fonte: <www.leroymerlin.com.br>

4.4.3 Bloco Estrutural de Cerâmica

Os blocos estruturais de cerâmica são mais leves que os blocos de concreto e têm sua produção em Curitiba concentrada no bairro do Umbará. Sua medida convencional é (14x19x29) cm e é comercializada a uma média de R\$ 1,30 por

peça. São necessárias 16,7 peças para a execução de 1 m², o que leva a um valor de R\$ 21,71 /m² de alvenaria.

4.4.4 Bloco Estrutural de Concreto com Agregados Leves

Para análise de custos de produção, foram considerados os preços de aquisição dos agregados leves (argila expandida e vermiculita expandida) em sacos de 100 l, pois em Curitiba não há venda a granel destes agregados.

Substituído 100% da brita por argila expandida

Os blocos estruturais de concreto com agregado leve, argila expandida em substituição total da brita 0, traço de 1:4 (cimento:agregados) e resistência aproximada de 8 MPa, produzido e ensaiado neste trabalho, possui R\$ 1,53 de custo estimado dos insumos, discriminados abaixo:

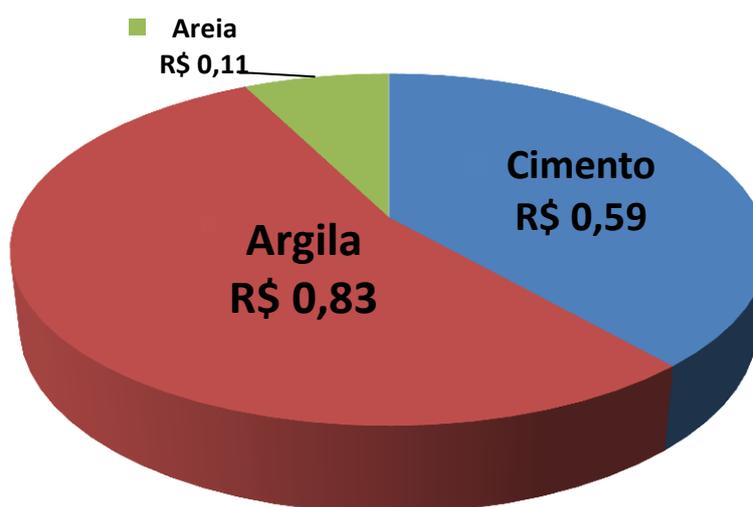


Gráfico 4.6: Custo de insumos para produção de 1 bloco estrutural de 14x19x39cm com substituição total de brita 0 por argila expandida

Fonte: Autoria própria

Ao buscar um valor viável para produção e venda, com margem próxima da negociada com o bloco tradicional (citado no item 4.3.1), pode-se esperar um valor

entre R\$ 3,80 e R\$ 4,00 por peça, ou aproximadamente 2,5 vezes o valor dos insumos.

Apesar do custo de produção e valor de venda destas peças serem maior que dos blocos de concreto convencionais, o peso específico é 22,6% menor que o bloco tradicional e podem existir situações em que opta-se por não sobrecarregar uma estrutura e o bloco protótipo seja uma boa alternativa, pois suporta uma resistência à compressão da ordem de 8MPa.

O custo com este tipo de bloco para a construção de 1 m² de alvenaria ficará entre R\$ 50,00 e R\$ 54,00.

Substituído 100% da brita por argila expandida e 8,77% da areia por vermiculita expandida

Os blocos estruturais de concreto com agregado leve, sendo argila expandida em substituição total da brita 0 e vermiculita expandida em substituição de 8,77% da areia, idealizado neste trabalho, com resistência esperada de 4,5MPa possui R\$ 1,55 de custo estimado dos insumos, discriminados abaixo:

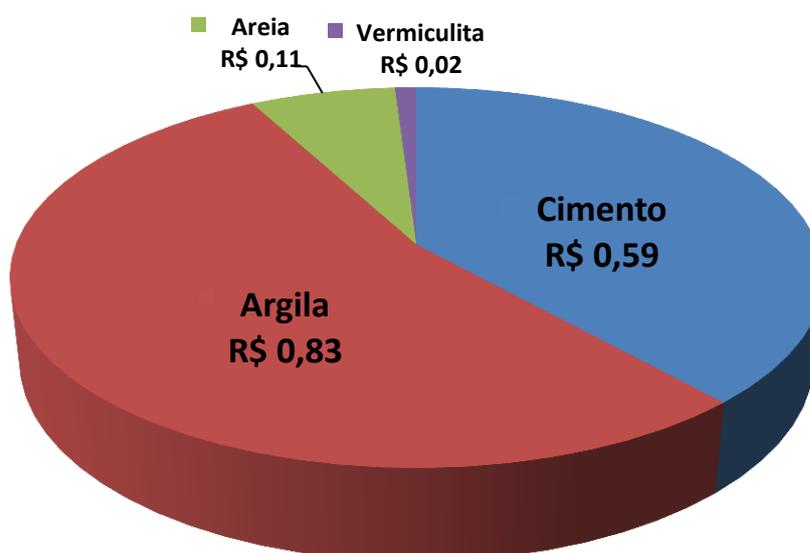


Gráfico 4.7: Custo de insumos para produção de 1 bloco estrutural de 14x19x39cm com substituição total de brita 0 por argila expandida e 8,77% da areia por vermiculita expandida
Fonte: Autoria própria

Pode-se esperar um valor para comercialização, da mesma forma citada no item anterior, entre R\$ 3,80 e R\$ 4,00 por peça. O custo para a construção de 1 m² de alvenaria com este bloco ficará entre R\$ 50,00 e R\$ 54,00.

A viabilidade da utilização destes blocos é possível em situações em que sejam demandados blocos com 4,5 MPa porém não seja possível sobrecarregar a estrutura (ex.: fundação não suporta um incremento de carga na estrutura), pois o peso específico do bloco protótipo é 33,6% menor do que o bloco tradicional.

5 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir que a substituição dos agregados usualmente empregados por agregados leves como a argila expandida e a vermiculita expandida pode proporcionar benefícios devido à redução da massa específica do bloco, como:

- Maior praticidade para transporte dos pallets de blocos: útil em obras que não permitem instalação de guas, sendo utilizados apenas elevadores de obra ou pequenos guindastes.
- Agilidade na execução da alvenaria: redução no peso dos blocos pode proporcionar maior produtividade com menor desgaste físico dos operários.
- Redução da carga total das edificações: interessante em retrofits e construções em que a fundação não pode sofrer incremento de carga.
- Aumento do conforto térmico e acústico: agregados leves aplicados nesta pesquisa têm estas características.

Com os resultados dos blocos produzidos durante a pesquisa, foi constatado que a vermiculita expandida reduz a massa específica do concreto, porém não proporciona blocos com resistências satisfatórias à compressão.

Com a substituição da brita 0 pela argila expandida foram obtidos resultados de resistência à compressão muito próximos, podendo-se concluir que a argila expandida possui desempenho equivalente à brita 0, porém com peso específico muito menor.

A substituição ótima é de toda a brita 0 (100%) por argila expandida e 8,77% da areia média fina por vermiculita expandida para se atender 4,5 MPa de resistência mecânica à compressão. Tal substituição de agregados proporcionaria segundo o tratamento estatístico uma redução de aproximadamente 33,6% na massa específica do bloco de concreto, se comparado ao bloco de referência.

O tratamento estatístico permite se chegar a resultados confiáveis com menos amostras e repetições dos ensaios, porém como não foi possível produzir os protótipos, os resultados não puderam ser confirmados.

Os custos de produção foram estimados com base nos valores de aquisição dos agregados leves em sacos de 100 l, é possível que com a aquisição a granel dos agregados e utilização de equipamentos mais modernos na produção, os custos sejam reduzidos.

Para a utilização destes blocos em larga escala devem ser realizados (além de maiores estudos e formas de viabilizar a fabricação dos mesmos) testes de prismas, pequenas paredes e paredes, conforme previsto na norma ABNT NBR 15961-1/2011.

5.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Caracterização granulométrica dos agregados leves propostos em comparação com os agregados convencionais.
- Estudo da umidade ótima para produção de blocos de concreto estruturais com agregados leves (argila expandida e vermiculita expandida).
- Análise de desempenho do isolamento térmico dos blocos protótipos com agregados leves em relação aos blocos convencionais de concreto.
- Análise de desempenho do isolamento acústico dos blocos protótipos com agregados leves em relação aos blocos convencionais de concreto.
- Produção dos blocos protótipos com o traço obtido nesta pesquisa e confirmação das expectativas de resistência mecânica à compressão, absorção de água, índice de vazios e massa específica.

6 REFERÊNCIAS

ANUÁRIO PINI CONSTRUÇÃO. Editora Pini p 86. São Paulo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP) disponível em:
<http://www.abcp.org.br/comunidades/recife/download/pm_minicursos/11_curso_intensivo/Dosagem.pdf> Acesso em: 19 jun. 2011

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP) disponível em:
<http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2010/07/06Materiais_AE_Humberto_Roman.pdf> Acesso em: 19 jun. 2011

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1991) **NBR 5733** – Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007) **NBR 5739** – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2003) **NBR 6118** – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007) **NBR 6136** – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009) **NBR 7211** – Agregado para Concreto. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2005) **NBR 9778** – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2000) **NBR 10837** – Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2011) **NBR 15961-1** – Alvenaria estrutural - Blocos de concreto – Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro.

ALVES, J.D., **A vermiculita como agregado para concreto**. GOIÁS: Editora da Universidade Federal de Goiás, 1986.

BRASIL MINÉRIOS. Disponível em:
< http://www.brasilmineros.com.br/site/vermiculita_portugues.htm>. Acesso em: 3 jun. 2011.

CADERNO TÉCNICO ALVENARIA ESTRUTURAL – CT10. **Prisma**. São Paulo: 2010. Suplemento.

CALDESUL. Disponível em:
<http://www.caldesul.com.br/lista_produtos.php?cat=2&subcat=7>. Acesso em 6 jun.2011.

CIA DE CIMENTO ITAMBÉ. Disponível em: <www.cimentoitambe.com.br>. Acesso em 6 jun. 2011.

CINEXPAN. Disponível em:
<<http://www.cinexpan.com.br/html/produtos.html>>. Acesso em 6 jun.2011

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. Disponível em:
<https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=5496>.
Acesso em 6 jun.2011.
FALCÃO BAUER, L.A., *Materiais de Construção* 1. 5ª ed. Revisada. 447 p. LTC, Rio de Janeiro, 2000.

FREIRE, W.J.; BERALDO, A.L., *Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção*. Editora UNICAMP, Campinas, 2003.

LEROY MERLIN. Disponível em:
<www.leroymerlin.com.br> Acesso em 9 set.2011

MOHAMAD, G. *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. 1ª ed. p. 1008 – 1026. IBRACON, São Paulo, 2007.
LIMA, F.A.M., **Estudo da influência da adição de vermiculita expandida na resistência à compressão e nas propriedades reológicas de pastas de cimento para cimentação de poços de petróleo**. 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

MAYCÁ, J.; CREMONINI, R.; RECENA, F.A., **Contribuição ao estudo da argila expandida nacional como alternativa de agregado graúdo para concretos leves estruturais (CLE)**. Curso de Especialização em Construção Civil 2006/2008 - NORIE/UFRGS. Disponível em:
<http://www.allquimica.com.br/arquivos/websites/artigos/-CONTRIBUI%C3%87%C3%83O_AO_ESTUDO_DA_ARGILA_EXPANDIDA_NACIONAL_COMO_ALTERNATIVA_DE_AGREGADO_GR%C3%81UDO_EM_CONCRETOS_LEVES_ESTRUTURAIS__CLE_2008920151424.pdf>. Acesso em 6 jun. 2011.

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 674 p. IBRACON, São Paulo, 2008.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. 2ª ed. Editora. Pini 828 p. São Paulo, 1997.

PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de Cimento Portland**. 12ª ed., Editora Globo, 307 p., São Paulo, 1993.

PRUDÊNCIO JÚNIOR, L.R., OLIVEIRA, A.L., BEDIN, C.A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 1ª ed. 61 p. Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes à Base de Cimento Portland. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

RAMALHO, M. A., CORRÊA, M. R. S., **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1ª ed. 12 p. Editora Pini, São Paulo, 2003.

ROSSIGNOLO, J.A. & AGNESINI, M.V.C. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações. Concreto Estrutural Leve**. IBRACON, São Paulo, 2005. volume 2. p. 1333-1362.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO Disponível em:
< http://www.snic.org.br/pdf/snic-relatorio2010-11_web.pdf>. Acesso em 11 dez.2011

SCIELO BRASIL Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-20612001000200016&script=sci_arttext>. Acesso em 6 jun.2011

ANEXOS

ANEXO A - Resultados do modelo para cálculo da resistência à compressão	60
ANEXO B – Resultados do modelo para cálculo da absorção de água	70
ANEXO C – Resultados do modelo para cálculo do índice de vazios	79
ANEXO D – Resultados do modelo para cálculo da massa específica.....	88

ANEXO A

Resultados do modelo para cálculo da resistência à compressão

Infer versão 3 - Modo de Estatística Inferencial.

Data : 06/Out/2011

Observações :

(a) Regressores testados a um nível de significância de 5,00%

(b) Critério de identificação de outlier :

Intervalo de +/- 2,00 desvios padrões em torno da média.

(c) Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, a um nível de significância de 5%

(d) Teste de auto-correlação de Durbin-Watson, a um nível de significância de 5,0%

Descrição das Variáveis

Variável Dependente :

- RC7d (MPa)

Variáveis Independentes :

- Vermiculita (%)
- Arg Expandida (%)

Estatísticas Básicas

Nº de elementos da amostra : 22
 Nº de variáveis independentes : 2
 Nº de graus de liberdade : 19
 Desvio padrão da regressão : $6,223 \times 10^{-2}$

Variável	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação
RC7d (MPa) ^{1/3}	1,404	0,543	38,73%
Vermiculita (%) ^{1/2}	5,376	4,700	87,43%
Arg Expandida (%) ³	$3,863 \times 10^5$	$4,770 \times 10^5$	123,46%

Estatísticas das Variáveis Não Transformadas

Nome da Variável	Valor médio	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude total	Coeficiente de variação
RC7d (MPa)	3,99	3,704	0,51	9,19	8,68	92,830
Vermiculita (%)	50,00	46,291	0,00	100,00	100,00	92,582
Arg Expandida (%)	45,45	46,056	0,00	100,00	100,00	101,324

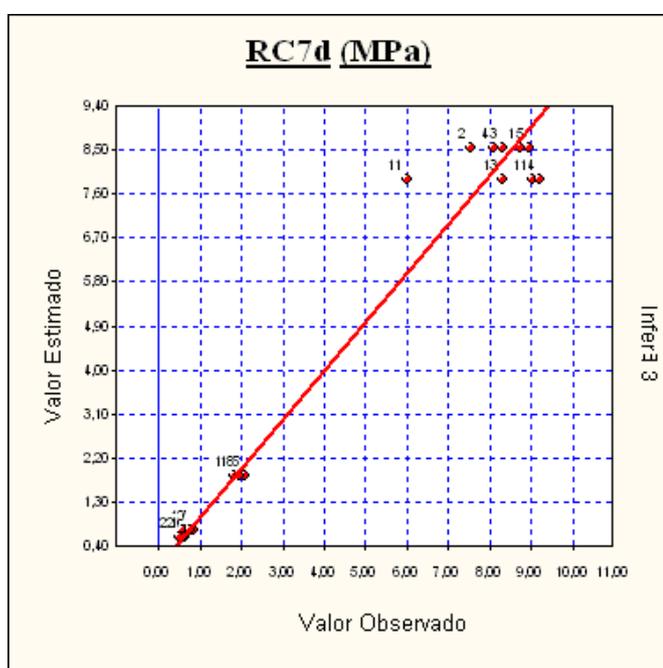
Tabela de valores estimados e observados

Valores para a variável RC7d (MPa).

Nº Am.	Valor observado	Valor estimado	Diferença	Varição %
1	8,74	8,53	-0,21	-2,3953 %
2	7,55	8,53	0,98	12,9888 %
3	8,32	8,53	0,21	2,5319 %
4	8,10	8,53	0,43	5,3167 %
5	8,93	8,53	-0,40	-4,4720 %
6	0,62	0,71	0,09	14,4303 %
7	0,84	0,71	-0,13	-15,5396 %
8	0,74	0,71	-0,03	-4,1260 %
9	0,60	0,71	0,11	18,2446 %
10	0,75	0,71	-0,04	-5,4043 %
11	6,02	7,90	1,88	31,2950 %
12	9,03	7,90	-1,13	-12,4700 %
13	8,32	7,90	-0,42	-5,0005 %
14	9,19	7,90	-1,29	-13,9939 %
15	2,08	1,83	-0,25	-12,1168 %
16	1,93	1,83	-0,10	-5,2865 %
17	1,83	1,83	-0,00	-0,1109 %
18	1,96	1,83	-0,13	-6,7362 %
19	0,52	0,59	0,07	14,2160 %
20	0,62	0,59	-0,03	-4,2059 %
21	0,59	0,59	0,00	0,6650 %
22	0,51	0,59	0,08	16,4556 %

A variação (%) é calculada como a diferença entre os valores observado e estimado, dividida pelo valor observado.

Valores Estimados x Valores Observados



Uma melhor adequação dos pontos à reta significa um melhor ajuste do modelo.

Modelo da Regressão

$$[\text{RC7d (MPa)}]^{1/3} = 2,0433 - 0,11514 \times [\text{Vermiculita (\%)}]^{1/2} - 5,1313 \times 10^{-8} \times [\text{Arg Expandida (\%)}]^3$$

Modelo para a Variável Dependente

$$[\text{RC7d (MPa)}] = (2,0433 - 0,11514 \times [\text{Vermiculita (\%)}]^{1/2} - 5,1313 \times 10^{-8} \times [\text{Arg Expandida (\%)}]^3)^3$$

Regressores do Modelo

Intervalo de confiança de 95,00%.

Variáveis	Coefficiente	D. Padrão	Mínimo	Máximo
Vermiculita (%)	b1 = -0,115	2,892x10 ⁻³	-0,121	-0,109
Arg Expandida (%)	b2 = -5,131x10 ⁻⁸	2,850x10 ⁻⁸	-1,109x10 ⁻⁷	8,341x10 ⁻⁹

Correlação do Modelo

Coefficiente de correlação (r)	: 0,9941
Valor t calculado	: 39,81
Valor t tabelado (t crítico)	: 2,093 (para o nível de significância de 5,00 %)
Coefficiente de determinação (r ²) ...	: 0,9882
Coefficiente r ² ajustado	: 0,9869

Classificação : Correlação Fortíssima

Tabela de Somatórios

	1	RC7d (MPa)	Vermiculita (%)	Arg Expandida (%)
RC7d (MPa)	30,896	49,603	112,800	1,194x10 ⁷
Vermiculita (%)	118,284	112,800	1100	4,353x10 ⁷
Arg Expandida (%)	8,500x10 ⁶	1,194x10 ⁷	4,353x10 ⁷	8,062x10 ¹²

Análise da Variância

Fonte de erro	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	6,138	2	3,069	792,4
Residual	7,359x10 ⁻²	19	3,873x10 ⁻³	
Total	6,212	21	0,295	

F Calculado : 792,4
 F Tabelado : 3,522 (para o nível de significância de 5,000 %)
 Significância do modelo igual a 5,0x10⁻¹⁷%
 Portanto a Confiabilidade do Modelo é superior a 99,9%
Aceita-se a hipótese de existência da regressão.

Correlações Parciais

	RC7d (MPa)	Vermiculita (%)	Arg Expandida (%)
RC7d (MPa)	1,0000	-0,9930	0,0008
Vermiculita (%)	-0,9930	1,0000	-0,0460
Arg Expandida (%)	0,0008	-0,0460	1,0000

Teste t das Correlações Parciais

Valores calculados para as estatísticas t :

	RC7d (MPa)	Vermiculita (%)	Arg Expandida (%)
RC7d (MPa)	∞	-36,76	$3,282 \times 10^{-3}$
Vermiculita (%)	-36,76	∞	-0,2006
Arg Expandida (%)	$3,282 \times 10^{-3}$	-0,2006	∞

Valor t tabelado (t crítico) : 2,093 (para o nível de significância de 5,00 %)

Significância dos Regressores (bicaudal)

(Teste bicaudal - significância 5,00%)

Coefficiente t de Student : t(crítico) = 2,0930

Variável	Coefficiente	t Calculado	Significância	Aceito
Vermiculita (%)	b1	-39,85	$5,4 \times 10^{-18}\%$	Sim
Arg Expandida (%)	b2	-1,802	8,7%	Não

Um dos regressores não é importante na formação do modelo.

Significância dos Regressores (unicaudal)

(Teste unicaudal - significância 5,00%)

Coefficiente t de Student : t(crítico) = 1,7291

Variável	Coefficiente	t Calculado	Significância
Vermiculita (%)	b1	-39,81	$2,7 \times 10^{-18}\%$
Arg Expandida (%)	b2	-1,800	4,4%

Tabela de Resíduos

Resíduos da variável dependente [RC7d (MPa)]^{1/3}.

Nº Am.	Observado	Estimado	Resíduo	Normalizado	Studentizado	Quadrático
1	2,059	2,043	1,657x10 ⁻²	0,266	0,287	2,748x10 ⁻⁴
2	1,961	2,043	-8,150x10 ⁻²	-1,309	-1,414	6,642x10 ⁻³
3	2,026	2,043	-1,695x10 ⁻²	-0,272	-0,294	2,876x10 ⁻⁴
4	2,008	2,043	-3,497x10 ⁻²	-0,562	-0,607	1,223x10 ⁻³
5	2,074	2,043	3,139x10 ⁻²	0,504	0,545	9,859x10 ⁻⁴
6	0,852	0,891	-3,918x10 ⁻²	-0,629	-0,670	1,535x10 ⁻³
7	0,943	0,891	5,164x10 ⁻²	0,829	0,884	2,667x10 ⁻³
8	0,904	0,891	1,261x10 ⁻²	0,202	0,215	1,591x10 ⁻⁴
9	0,843	0,891	-4,845x10 ⁻²	-0,778	-0,829	2,348x10 ⁻³
10	0,908	0,891	1,667x10 ⁻²	0,267	0,285	2,779x10 ⁻⁴
11	1,819	1,991	-0,172	-2,776	-3,067	2,986x10 ⁻²
12	2,082	1,991	9,042x10 ⁻²	1,452	1,604	8,177x10 ⁻³
13	2,026	1,991	3,435x10 ⁻²	0,551	0,609	1,180x10 ⁻³
14	2,094	1,991	0,102	1,649	1,821	1,053x10 ⁻²
15	1,276	1,222	5,379x10 ⁻²	0,864	0,893	2,893x10 ⁻³
16	1,245	1,222	2,233x10 ⁻²	0,358	0,371	4,989x10 ⁻⁴
17	1,223	1,222	4,523x10 ⁻⁴	7,267x10 ⁻³	7,516x10 ⁻³	2,045x10 ⁻⁷
18	1,251	1,222	2,875x10 ⁻²	0,462	0,477	8,269x10 ⁻⁴
19	0,804	0,840	-3,643x10 ⁻²	-0,585	-0,644	1,327x10 ⁻³
20	0,852	0,840	1,212x10 ⁻²	0,194	0,214	1,470x10 ⁻⁴
21	0,838	0,840	-1,854x10 ⁻³	-2,980x10 ⁻²	-3,283x10 ⁻²	3,440x10 ⁻⁶
22	0,798	0,840	-4,161x10 ⁻²	-0,668	-0,736	1,732x10 ⁻³

Estatística dos Resíduos

Número de elementos : 22
 Graus de liberdade : 21
 Valor médio : -1,182x10⁻¹⁹
 Variância : 3,345x10⁻³
 Desvio padrão : 5,783x10⁻²
 Desvio médio : 4,307x10⁻²
 Variância (não tendenciosa) : 3,873x10⁻³
 Desvio padrão (não tend.) : 6,223x10⁻²
 Valor mínimo : -0,172
 Valor máximo : 0,102
 Amplitude : 0,275
 Número de classes : 5
 Intervalo de classes : 5,509x10⁻²

Momentos Centrais

Momento central de 1ª ordem : -1,182x10⁻¹⁹
 Momento central de 2ª ordem : 3,345x10⁻³
 Momento central de 3ª ordem : -1,732x10⁻⁴
 Momento central de 4ª ordem : -7,875x10⁻⁶

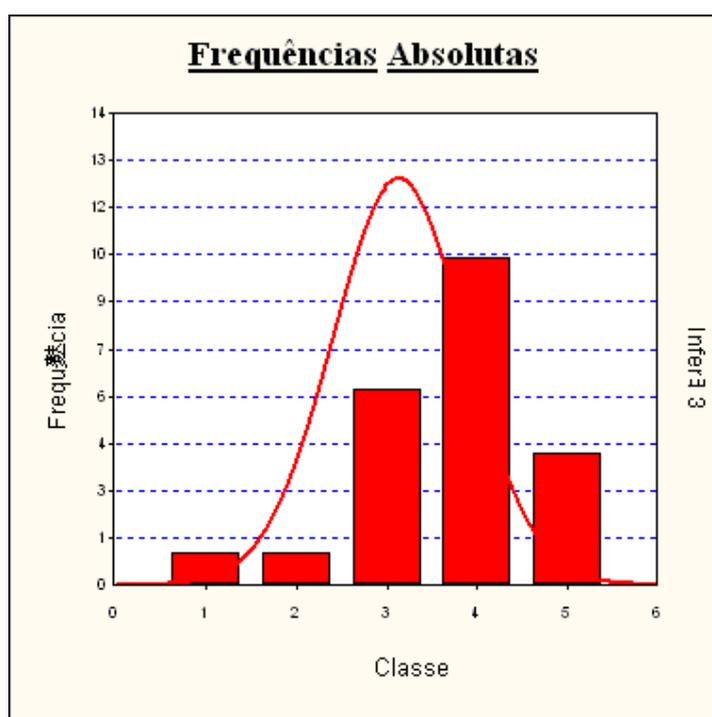
Coefficiente	Amostral	Normal	t de Student
Assimetria	-0,895	0	0
Curtose	-3,703	0	Indefinido

Distribuição assimétrica à esquerda e platicúrtica.

Intervalos de Classes

Classe	Mínimo	Máximo	Freq.	Freq.(%)	Média
1	-0,172	-0,117	1	4,55	-0,172
2	-0,117	$-6,263 \times 10^{-2}$	1	4,55	$-8,150 \times 10^{-2}$
3	$-6,263 \times 10^{-2}$	$-7,537 \times 10^{-3}$	6	27,27	$-3,627 \times 10^{-2}$
4	$-7,537 \times 10^{-3}$	$4,755 \times 10^{-2}$	10	45,45	$1,734 \times 10^{-2}$
5	$4,755 \times 10^{-2}$	0,102	4	18,18	$7,463 \times 10^{-2}$

Histograma



Amostragens eliminadas

Todas as amostragens foram utilizadas. Não houveram amostragens eliminadas.

Presença de Outliers

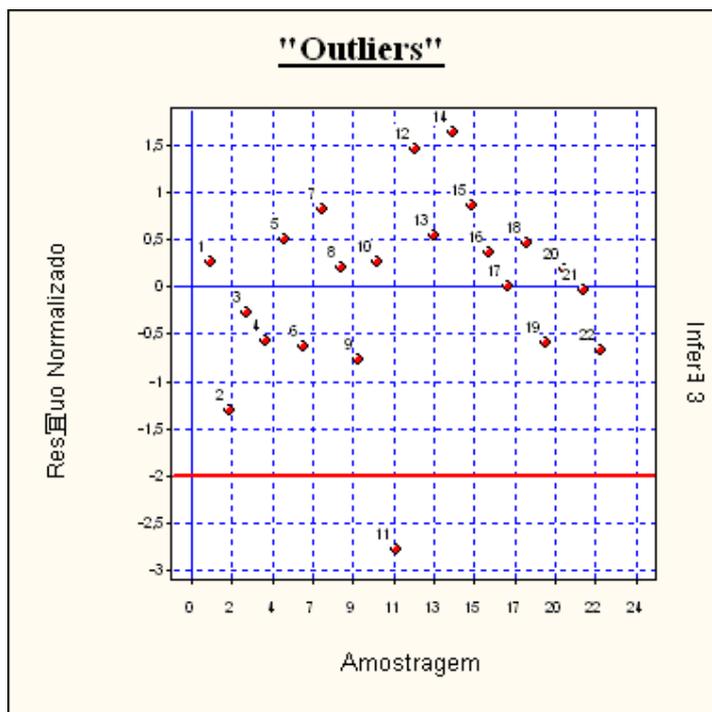
Critério de identificação de outlier :

Intervalo de +/- 2,00 desvios padrões em torno da média.

Foi encontrada 1 amostragem fora do intervalo.

Nº Am.	RC7d (MPa)	Erro/Desvio Padrão
11	6,02	-2,776

Gráfico de Indicação de Outliers



Efeitos de cada Observação na Regressão

F tabelado : 8,280 (para o nível de significância de 0,10 %)

Nº Am.	Distância de Cook(*)	Hii(**)	Aceito
1	$4,616 \times 10^{-3}$	0,143	Sim
2	0,111	0,143	Sim
3	$4,830 \times 10^{-3}$	0,143	Sim
4	$2,054 \times 10^{-2}$	0,143	Sim
5	$1,655 \times 10^{-2}$	0,143	Sim
6	$2,035 \times 10^{-2}$	0,119	Sim
7	$3,535 \times 10^{-2}$	0,119	Sim
8	$2,109 \times 10^{-3}$	0,119	Sim
9	$3,112 \times 10^{-2}$	0,119	Sim
10	$3,683 \times 10^{-3}$	0,119	Sim
11	0,690	0,180	Sim
12	0,188	0,180	Sim
13	$2,727 \times 10^{-2}$	0,180	Sim
14	0,243	0,180	Sim
15	$1,855 \times 10^{-2}$	$6,511 \times 10^{-2}$	Sim
16	$3,199 \times 10^{-3}$	$6,511 \times 10^{-2}$	Sim
17	$1,311 \times 10^{-6}$	$6,511 \times 10^{-2}$	Sim
18	$5,301 \times 10^{-3}$	$6,511 \times 10^{-2}$	Sim
19	$2,963 \times 10^{-2}$	0,176	Sim
20	$3,283 \times 10^{-3}$	0,176	Sim
21	$7,684 \times 10^{-5}$	0,176	Sim
22	$3,868 \times 10^{-2}$	0,176	Sim

(*) A distância de Cook corresponde à variação máxima sofrida pelos coeficientes do modelo quando se retira o elemento da amostra. Não deve ser maior que F tabelado.

Todos os elementos da amostragem passaram pelo teste de consistência.

(**) H_{ii} são os elementos da diagonal da matriz de previsão. São equivalentes à distância de Mahalanobis e medem a distância da observação para o conjunto das demais observações.

Distribuição dos Resíduos Normalizados

Intervalo	Distribuição de Gauss	% de Resíduos no Intervalo
-1; +1	68,3 %	81,82 %
-1,64; +1,64	89,9 %	90,91 %
-1,96; +1,96	95,0 %	95,45 %

Teste de Kolmogorov-Smirnov

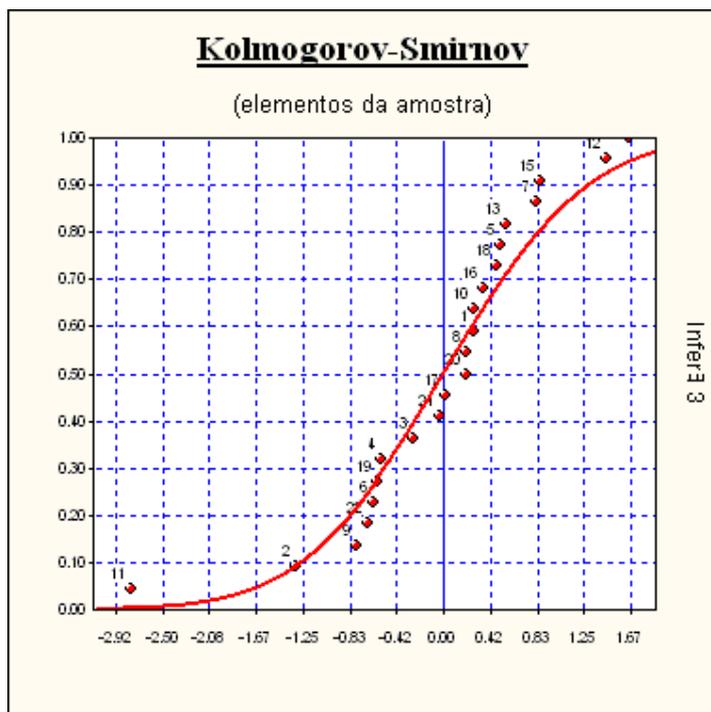
Amostr.	Resíduo	F(z)	G(z)	Dif. esquerda	Dif. Direita
11	-0,172	$2,744 \times 10^{-3}$	0,0455	$2,744 \times 10^{-3}$	$4,271 \times 10^{-2}$
2	$-8,150 \times 10^{-2}$	0,0952	0,0909	$4,971 \times 10^{-2}$	$4,264 \times 10^{-3}$
9	$-4,845 \times 10^{-2}$	0,2181	0,1364	0,127	$8,175 \times 10^{-2}$
22	$-4,161 \times 10^{-2}$	0,2518	0,1818	0,115	$7,002 \times 10^{-2}$
6	$-3,918 \times 10^{-2}$	0,2645	0,2273	$8,264 \times 10^{-2}$	$3,719 \times 10^{-2}$
19	$-3,643 \times 10^{-2}$	0,279	0,2727	$5,188 \times 10^{-2}$	$6,431 \times 10^{-3}$
4	$-3,497 \times 10^{-2}$	0,287	0,3182	$1,432 \times 10^{-2}$	$3,113 \times 10^{-2}$
3	$-1,695 \times 10^{-2}$	0,393	0,3636	$7,444 \times 10^{-2}$	$2,898 \times 10^{-2}$
21	$-1,854 \times 10^{-3}$	0,488	0,4091	0,124	$7,902 \times 10^{-2}$
17	$4,523 \times 10^{-4}$	0,503	0,4545	$9,380 \times 10^{-2}$	$4,835 \times 10^{-2}$
20	$1,212 \times 10^{-2}$	0,577	0,5000	0,122	$7,723 \times 10^{-2}$
8	$1,261 \times 10^{-2}$	0,580	0,5455	$8,031 \times 10^{-2}$	$3,485 \times 10^{-2}$
1	$1,657 \times 10^{-2}$	0,605	0,5909	$5,957 \times 10^{-2}$	$1,412 \times 10^{-2}$
10	$1,667 \times 10^{-2}$	0,606	0,6364	$1,468 \times 10^{-2}$	$3,076 \times 10^{-2}$
16	$2,233 \times 10^{-2}$	0,640	0,6818	$3,807 \times 10^{-3}$	$4,164 \times 10^{-2}$
18	$2,875 \times 10^{-2}$	0,678	0,7273	$3,846 \times 10^{-3}$	$4,930 \times 10^{-2}$
5	$3,139 \times 10^{-2}$	0,693	0,7727	$3,422 \times 10^{-2}$	$7,968 \times 10^{-2}$
13	$3,435 \times 10^{-2}$	0,710	0,8182	$6,320 \times 10^{-2}$	0,108
7	$5,164 \times 10^{-2}$	0,797	0,8636	$2,148 \times 10^{-2}$	$6,694 \times 10^{-2}$
15	$5,379 \times 10^{-2}$	0,806	0,9091	$5,734 \times 10^{-2}$	0,102
12	$9,042 \times 10^{-2}$	0,927	0,9545	$1,778 \times 10^{-2}$	$2,766 \times 10^{-2}$
14	0,102	0,950	1,0000	$4,078 \times 10^{-3}$	$4,953 \times 10^{-2}$

Maior diferença obtida : 0,127

Valor crítico : 0,3060 (para o nível de significância de 5 %)

Aceita-se a hipótese alternativa de que há normalidade.

Gráfico de Kolmogorov-Smirnov



Teste de Sequências/Sinais

Número de elementos positivos .. : 13
 Número de elementos negativos . : 9
 Número de sequências : 12
 Média da distribuição de sinais : 11
 Desvio padrão : 2,345

Teste de Sequências

(desvios em torno da média) :

Limite inferior : 0,3909
 Limite superior . : -0,0617
 Intervalo para a normalidade : [-1,6452 , 1,6452] (para o nível de significância de 5%)

Pelo teste de sequências, aceita-se a hipótese da aleatoriedade dos sinais dos resíduos.

Teste de Sinais

(desvios em torno da média)

Valor z (calculado) : 0,8528
 Valor z (crítico) : 1,6452 (para o nível de significância de 5%)

Pelo teste de sinais, aceita-se a hipótese nula, podendo ser afirmado que a distribuição dos desvios em torno da média segue a curva normal (curva de Gauss).

Autocorrelação

Estatística de Durbin-Watson (DW) : 2,2733
(nível de significância de 5,0%)

Autocorrelação positiva (DW < DL) : DL = 1,21
Autocorrelação negativa (DW > 4-DL) : 4-DL = 2,79

Intervalo para ausência de autocorrelação (DU < DW < 4-DU)
DU = 1,55 4-DU = 2,45

Pelo teste de Durbin-Watson, não existe autocorrelação.

ANEXO B

Resultados do modelo para cálculo da absorção de água

Infer versão 3 - Modo de Estatística Inferencial.

Data : 17/Nov/2011

Observações :

(a) Regressores testados a um nível de significância de 5,00%

(b) Critério de identificação de outlier :

Intervalo de +/- 2,00 desvios padrões em torno da média.

(c) Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, a um nível de significância de 5%

(d) Teste de auto-correlação de Durbin-Watson, a um nível de significância de 5,0%

Descrição das Variáveis

Variável Dependente :

- Absorção (%)

Variáveis Independentes :

- Vermiculita (%)
- Arg. Expandida (%)

Estatísticas Básicas

Nº de elementos da amostra : 10
 Nº de variáveis independentes : 2
 Nº de graus de liberdade : 7
 Desvio padrão da regressão : $8,422 \times 10^{-2}$

Variável	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação
Absorção (%) ^{1/3}	2,065	0,381	18,47%
Vermiculita (%) ^{1/3}	2,593	2,262	87,23%
Arg. Expandida (%) ³	$4,250 \times 10^5$	$4,972 \times 10^5$	116,99%

Número mínimo de amostragens para 2 variáveis independentes : 7.

Estatísticas das Variáveis Não Transformadas

Nome da Variável	Valor médio	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude total	Coefficiente de variação
Absorção (%)	9,62	4,904	3,50	16,59	13,09	50,999
Vermiculita (%)	50,00	47,140	0,00	100,00	100,00	94,280
Arg. Expandida (%)	50,00	47,140	0,00	100,00	100,00	94,280

Tabela de valores estimados e observados

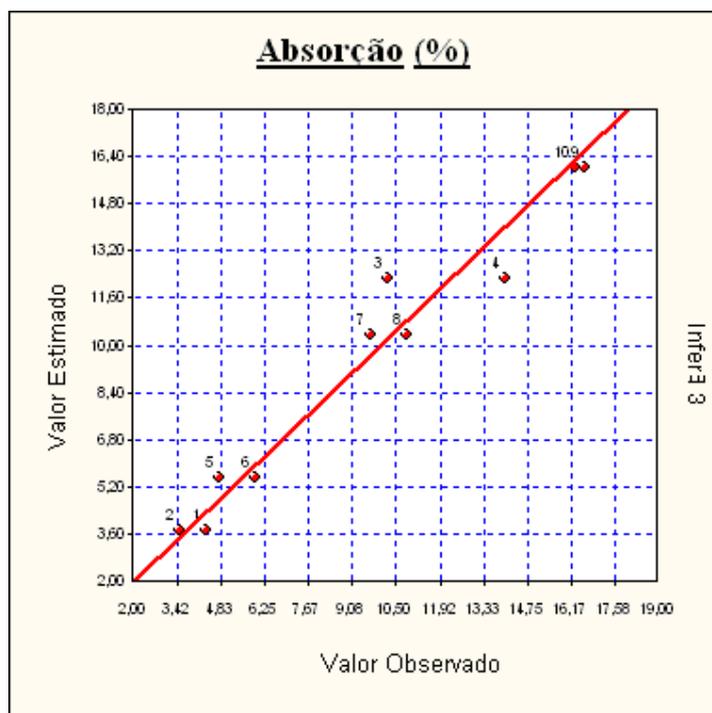
Valores para a variável Absorção (%).

Nº Am.	Valor observado	Valor estimado	Diferença	Variação %
1	4,33	3,74	-0,59	-13,5583 %
2	3,50	3,74	0,24	6,9407 %
3	10,20	12,26	2,06	20,2108 %
4	14,00	12,26	-1,74	-12,4178 %
5	4,79	5,53	0,74	15,5050 %
6	5,94	5,53	-0,41	-6,8571 %
7	9,70	10,33	0,63	6,4449 %
8	10,81	10,33	-0,48	-4,4851 %
9	16,59	16,04	-0,55	-3,3124 %
10	16,30	16,04	-0,26	-1,5921 %

A variação (%) é calculada como a diferença entre os valores observado e estimado, dividida pelo valor observado.

As variações percentuais são normalmente menores em valores estimados e observados maiores, não devendo ser usadas como elemento de comparação entre as amostragens.

Valores Estimados x Valores Observados



Uma melhor adequação dos pontos à reta significa um melhor ajuste do modelo.

Modelo da Regressão

$$[\text{Absorção (\%)}]^{1/3} = 1,5526 + 0,16229 \times [\text{Vermiculita (\%)}]^{1/3} + 2,1603 \times 10^{-7} \times [\text{Arg. Expandida (\%)}]^3$$

Modelo para a Variável Dependente

$$[\text{Absorção (\%)}] = (1,5526 + 0,16229 \times [\text{Vermiculita (\%)}]^{1/3} + 2,1603 \times 10^{-7} \times [\text{Arg. Expandida (\%)}]^3)^3$$

Regressores do Modelo

Intervalo de confiança de 95,00%.

Variáveis	Coefficiente	D. Padrão	Mínimo	Máximo
Vermiculita (%)	b1 = 0,162	$1,245 \times 10^{-2}$	0,132	0,191
Arg. Expandida (%)	b2 = $2,160 \times 10^{-7}$	$5,664 \times 10^{-8}$	$8,207 \times 10^{-8}$	$3,499 \times 10^{-7}$

Correlação do Modelo

Coefficiente de correlação (r)	: 0,9809
Valor t calculado	: 13,33
Valor t tabelado (t crítico)	: 2,365 (para o nível de significância de 5,00 %)
Coefficiente de determinação (r ²) ...	: 0,9621
Coefficiente r ² ajustado	: 0,9512

Classificação : Correlação Fortíssima

Tabela de Somatórios

	1	Absorção (%)	Vermiculita (%)	Arg. Expandida (%)
Absorção (%)	20,653	43,966	60,862	$9,125 \times 10^6$
Vermiculita (%)	25,934	60,862	113,321	$1,020 \times 10^7$
Arg. Expandida (%)	$4,250 \times 10^6$	$9,125 \times 10^6$	$1,020 \times 10^7$	$4,031 \times 10^{12}$

Análise da Variância

Fonte de erro	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	1,259	2	0,629	88,79
Residual	$4,965 \times 10^{-2}$	7	$7,093 \times 10^{-3}$	
Total	1,309	9	0,145	

F Calculado	: 88,79
F Tabelado	: 4,737 (para o nível de significância de 5,000 %)
Significância do modelo igual a	$1,1 \times 10^{-3}\%$

Aceita-se a hipótese de existência da regressão.

Correlações Parciais

	Absorção (%)	Vermiculita (%)	Arg. Expandida (%)
Absorção (%)	1,0000	0,9398	0,2038
Vermiculita (%)	0,9398	1,0000	-0,0808
Arg. Expandida (%)	0,2038	-0,0808	1,0000

Teste t das Correlações Parciais

Valores calculados para as estatísticas t :

	Absorção (%)	Vermiculita (%)	Arg. Expandida (%)
Absorção (%)	∞	7,279	0,551
Vermiculita (%)	7,279	∞	-0,2145
Arg. Expandida (%)	0,551	-0,2145	∞

Valor t tabelado (t crítico) : 2,365 (para o nível de significância de 5,00 %)

Significância dos Regressores (bicaudal)

(Teste bicaudal - significância 5,00%)

Coefficiente t de Student : t(crítico) = 2,3646

Variável	Coefficiente	t Calculado	Significância	Aceito
Vermiculita (%)	b1	13,08	$3,6 \times 10^{-4}$ %	Sim
Arg. Expandida (%)	b2	3,826	0,6%	Sim

*Os coeficientes são importantes na formação do modelo.
Aceita-se a hipótese de β diferente de zero.*

Significância dos Regressores (unicaudal)

(Teste unicaudal - significância 5,00%)

Coefficiente t de Student : t(crítico) = 1,8946

Variável	Coefficiente	t Calculado	Significância
Vermiculita (%)	b1	13,04	$1,8 \times 10^{-4}$ %
Arg. Expandida (%)	b2	3,813	0,3%

Tabela de Resíduos

Resíduos da variável dependente [Absorção (%)]^{1/3}.

Nº Am.	Observado	Estimado	Resíduo	Normalizado	Studentizado	Quadrático
1	1,629	1,552	7,726x10 ⁻²	0,917	1,134	5,970x10 ⁻³
2	1,518	1,552	-3,434x10 ⁻²	-0,407	-0,504	1,179x10 ⁻³
3	2,168	2,305	-0,137	-1,629	-1,893	1,883x10 ⁻²
4	2,410	2,305	0,104	1,237	1,437	1,085x10 ⁻²
5	1,685	1,768	-8,297x10 ⁻²	-0,985	-1,243	6,884x10 ⁻³
6	1,811	1,768	4,237x10 ⁻²	0,503	0,635	1,795x10 ⁻³
7	2,132	2,177	-4,486x10 ⁻²	-0,532	-0,581	2,012x10 ⁻³
8	2,211	2,177	3,356x10 ⁻²	0,398	0,435	1,126x10 ⁻³
9	2,550	2,521	2,847x10 ⁻²	0,338	0,422	8,109x10 ⁻⁴
10	2,535	2,521	1,352x10 ⁻²	0,160	0,200	1,830x10 ⁻⁴

Estatística dos Resíduos

Número de elementos : 10
 Graus de liberdade : 9
 Valor médio : -1,626x10⁻¹⁹
 Variância : 4,965x10⁻³
 Desvio padrão : 7,046x10⁻²
 Desvio médio : 5,988x10⁻²
 Variância (não tendenciosa) : 7,093x10⁻³
 Desvio padrão (não tend.) : 8,422x10⁻²
 Valor mínimo : -0,137
 Valor máximo : 0,104
 Amplitude : 0,241
 Número de classes : 4
 Intervalo de classes : 6,035x10⁻²

Momentos Centrais

Momento central de 1ª ordem : -1,626x10⁻¹⁹
 Momento central de 2ª ordem : 4,965x10⁻³
 Momento central de 3ª ordem : -1,554x10⁻⁴
 Momento central de 4ª ordem : -1,554x10⁻⁵

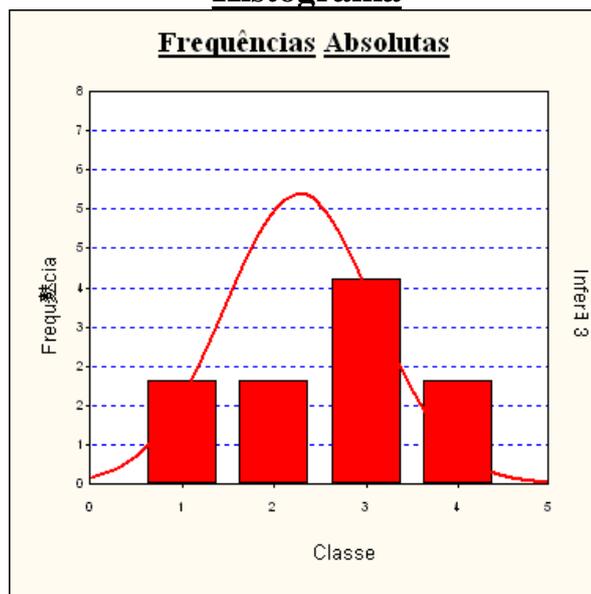
Coefficiente	Amostral	Normal	t de Student
Assimetria	-0,444	0	0
Curtose	-3,630	0	Indefinido

Distribuição assimétrica à esquerda e platicúrtica.

Intervalos de Classes

Classe	Mínimo	Máximo	Freq.	Freq.(%)	Média
1	-0,137	-7,687x10 ⁻²	2	20,00	-0,110
2	-7,687x10 ⁻²	-1,651x10 ⁻²	2	20,00	-3,960x10 ⁻²
3	-1,651x10 ⁻²	4,384x10 ⁻²	4	40,00	2,948x10 ⁻²
4	4,384x10 ⁻²	0,104	2	20,00	9,073x10 ⁻²

Histograma



Amostragens eliminadas

Todas as amostragens foram utilizadas. Não houveram amostragens eliminadas.

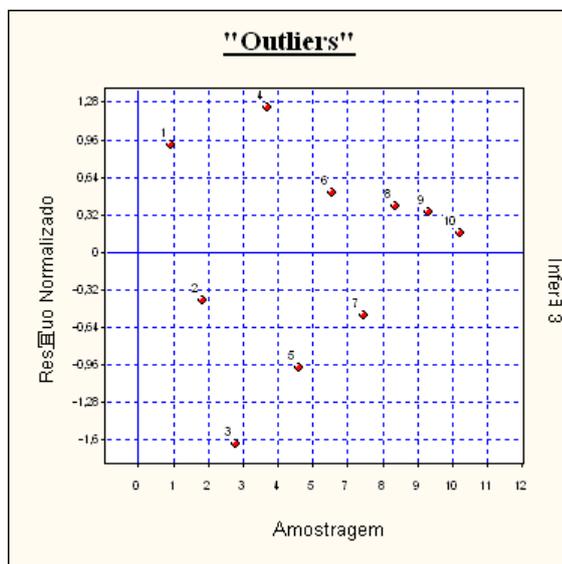
Presença de Outliers

Critério de identificação de outlier :

Intervalo de +/- 2,00 desvios padrões em torno da média.

Nenhuma amostragem foi encontrada fora do intervalo. Não existem outliers.

Gráfico de Indicação de Outliers



Efeitos de cada Observação na Regressão

F tabelado : 18,77 (para o nível de significância de 0,10 %)

Nº Am.	Distância de Cook(*)	Hii(**)	Aceito
1	0,227	0,346	Sim
2	$4,494 \times 10^{-2}$	0,346	Sim
3	0,418	0,259	Sim
4	0,241	0,259	Sim
5	0,306	0,372	Sim
6	$7,988 \times 10^{-2}$	0,372	Sim
7	$2,171 \times 10^{-2}$	0,161	Sim
8	$1,215 \times 10^{-2}$	0,161	Sim
9	$3,352 \times 10^{-2}$	0,360	Sim
10	$7,565 \times 10^{-3}$	0,360	Sim

(*) A distância de Cook corresponde à variação máxima sofrida pelos coeficientes do modelo quando se retira o elemento da amostra. Não deve ser maior que F tabelado.
Todos os elementos da amostragem passaram pelo teste de consistência.

(**) Hii são os elementos da diagonal da matriz de previsão. São equivalentes à distância de Mahalanobis e medem a distância da observação para o conjunto das demais observações.

Distribuição dos Resíduos Normalizados

Intervalo	Distribuição de Gauss	% de Resíduos no Intervalo
-1; +1	68,3 %	80,00 %
-1,64; +1,64	89,9 %	100,00 %
-1,96; +1,96	95,0 %	100,00 %

Teste de Kolmogorov-Smirnov

Amostr.	Resíduo	F(z)	G(z)	Dif. Esquerda	Dif. Direita
3	-0,137	0,0516	0,1000	$5,161 \times 10^{-2}$	$4,838 \times 10^{-2}$
5	$-8,297 \times 10^{-2}$	0,1623	0,2000	$6,228 \times 10^{-2}$	$3,771 \times 10^{-2}$
7	$-4,486 \times 10^{-2}$	0,297	0,3000	$9,712 \times 10^{-2}$	$2,879 \times 10^{-3}$
2	$-3,434 \times 10^{-2}$	0,342	0,4000	$4,172 \times 10^{-2}$	$5,827 \times 10^{-2}$
10	$1,352 \times 10^{-2}$	0,564	0,5000	0,163	$6,380 \times 10^{-2}$
9	$2,847 \times 10^{-2}$	0,632	0,6000	0,132	$3,235 \times 10^{-2}$
8	$3,356 \times 10^{-2}$	0,655	0,7000	$5,487 \times 10^{-2}$	$4,512 \times 10^{-2}$
6	$4,237 \times 10^{-2}$	0,693	0,8000	$7,421 \times 10^{-3}$	0,107
1	$7,726 \times 10^{-2}$	0,821	0,9000	$2,053 \times 10^{-2}$	$7,946 \times 10^{-2}$
4	0,104	0,892	1,0000	$8,004 \times 10^{-3}$	0,108

Maior diferença obtida : 0,163

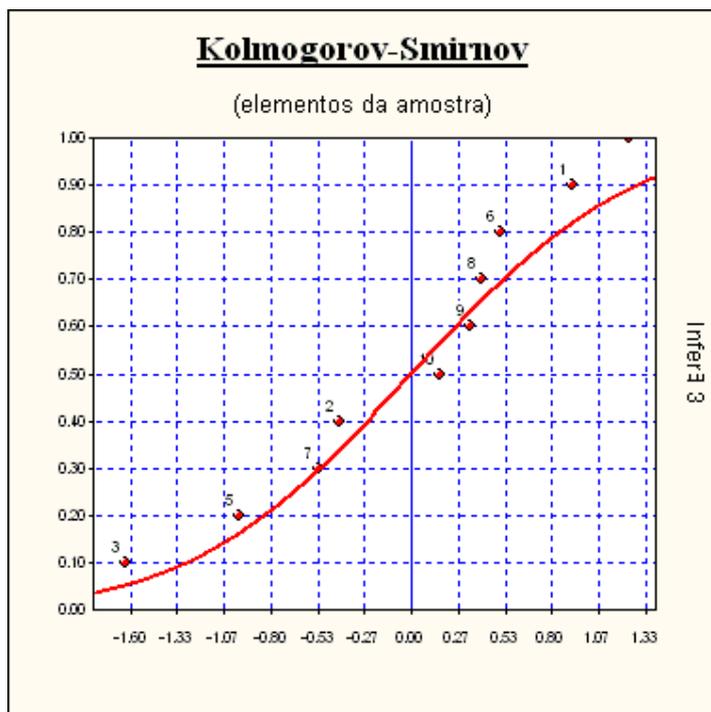
Valor crítico : 0,4090 (para o nível de significância de 5 %)

Aceita-se a hipótese alternativa de que há normalidade.

Observação:

O teste de Kolmogorov-Smirnov tem valor aproximado quando é realizado sobre uma população cuja distribuição é desconhecida, como é o caso das avaliações pelo método comparativo.

Gráfico de Kolmogorov-Smirnov



Teste de Sequências/Sinais

Número de elementos positivos .. : 6
 Número de elementos negativos . : 4
 Número de sequências : 7
 Média da distribuição de sinais : 5
 Desvio padrão : 1,581

Teste de Sequências

(desvios em torno da média) :

Limite inferior : 1,1941
 Limite superior . : 0,4917
 Intervalo para a normalidade : [-1,6452 , 1,6452] (para o nível de significância de 5%)

Pelo teste de sequências, aceita-se a hipótese da aleatoriedade dos sinais dos resíduos.

Teste de Sinais

(desvios em torno da média)

Valor z (calculado) : 0,6325
 Valor z (crítico) : 1,6452 (para o nível de significância de 5%)

Pelo teste de sinais, aceita-se a hipótese nula, podendo ser afirmado que a distribuição dos desvios em torno da média segue a curva normal (curva de Gauss).

Autocorrelação

Estatística de Durbin-Watson (DW) : 2,9422
(nível de significância de 5,0%)

Autocorrelação positiva (DW < DL) : DL = 0,95
Autocorrelação negativa (DW > 4-DL) : 4-DL = 3,05

Intervalo para ausência de autocorrelação (DU < DW < 4-DU)
DU = 1,54 4-DU = 2,46

Pelo teste de Durbin-Watson, não existe autocorrelação.

ANEXO C

Resultados do modelo para cálculo do índice de vazios

Infer versão 3 - Modo de Estatística Inferencial.

Data : 17/Nov/2011

Observações :

(a) Regressores testados a um nível de significância de 5,00%

(b) Critério de identificação de outlier :

Intervalo de +/- 2,00 desvios padrões em torno da média.

(c) Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, a um nível de significância de 5%

(d) Teste de auto-correlação de Durbin-Watson, a um nível de significância de 5,0%

Descrição das Variáveis

Variável Dependente :

- Índice de Vazios (%)

Variáveis Independentes :

- Vermiculita (%)
- Arg. Expandida (%)

Estatísticas Básicas

Nº de elementos da amostra : 10
 Nº de variáveis independentes : 2
 Nº de graus de liberdade : 7
 Desvio padrão da regressão : $1,729 \times 10^{-2}$

Variável	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação
1/Índice de Vazios (%) ^{1/2}	0,272	$5,446 \times 10^{-2}$	19,95%
Vermiculita (%) ^{1/3}	2,593	2,262	87,23%
Arg. Expandida (%) ³	$4,250 \times 10^5$	$4,972 \times 10^5$	116,99%

Número mínimo de amostragens para 2 variáveis independentes : 7.

Estatísticas das Variáveis Não Transformadas

Nome da Variável	Valor médio	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude total	Coefficiente de variação
Índice de Vazios (%)	14,86	5,520	7,92	24,65	16,73	37,141
Vermiculita (%)	50,00	47,140	0,00	100,00	100,00	94,280
Arg. Expandida (%)	50,00	47,140	0,00	100,00	100,00	94,280

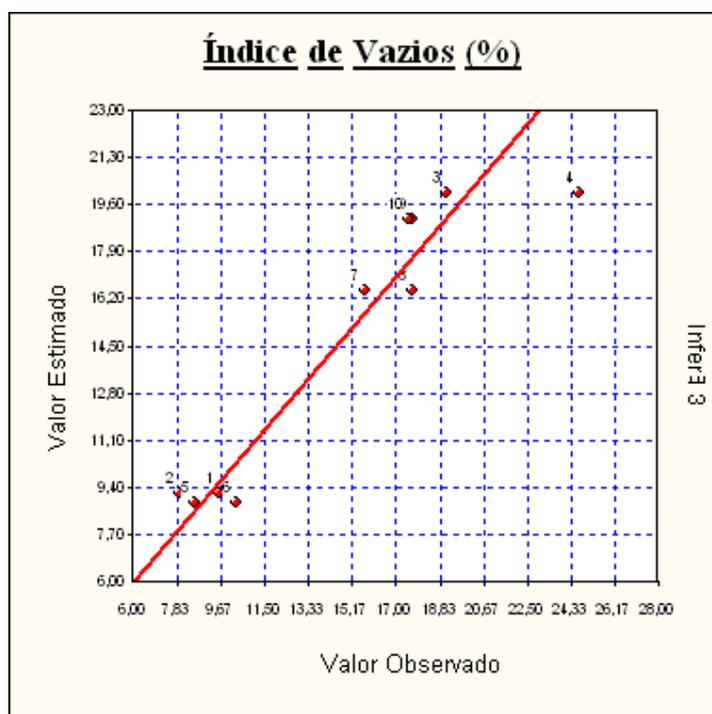
Tabela de valores estimados e observados

Valores para a variável Índice de Vazios (%).

Nº Am.	Valor observado	Valor estimado	Diferença	Varição %
1	9,56	9,17	-0,39	-4,0551 %
2	7,92	9,17	1,25	15,8123 %
3	19,09	20,02	0,93	4,8529 %
4	24,65	20,02	-4,63	-18,7975 %
5	8,55	8,87	0,32	3,7293 %
6	10,30	8,87	-1,43	-13,8946 %
7	15,68	16,49	0,81	5,1966 %
8	17,65	16,49	-1,16	-6,5449 %
9	17,70	19,05	1,35	7,6250 %
10	17,54	19,05	1,51	8,6068 %

A *variação (%)* é calculada como a diferença entre os valores observado e estimado, dividida pelo valor observado.

Valores Estimados x Valores Observados



Uma melhor adequação dos pontos à reta significa um melhor ajuste do modelo.

Modelo da Regressão

$$1/[\text{Índice de Vazios (\%)}]^{1/2} = 0,3302 - 2,2982 \times 10^{-2} \times [\text{Vermiculita (\%)}]^{1/3} + 5,6017 \times 10^{-9} \times [\text{Arg. Expandida (\%)}]^3$$

Modelo para a Variável Dependente

$$[\text{Índice de Vazios (\%)}] = 1 / (0,3302 - 2,2982 \times 10^{-2} \times [\text{Vermiculita (\%)}]^{1/3} + 5,6017 \times 10^{-9} \times [\text{Arg. Expandida (\%)}]^3)^2$$

Regressores do Modelo

Intervalo de confiança de 95,00%.

Variáveis	Coefficiente	D. Padrão	Mínimo	Máximo
Vermiculita (%)	$b_1 = -2,298 \times 10^{-2}$	$2,556 \times 10^{-3}$	$-2,902 \times 10^{-2}$	$-1,693 \times 10^{-2}$
Arg. Expandida (%)	$b_2 = 5,601 \times 10^{-9}$	$1,163 \times 10^{-8}$	$-2,190 \times 10^{-8}$	$3,310 \times 10^{-8}$

Correlação do Modelo

Coefficiente de correlação (r)	: 0,9600
Valor t calculado	: 9,072
Valor t tabelado (t crítico)	: 2,365 (para o nível de significância de 5,00 %)
Coefficiente de determinação (r ²) ...	: 0,9216
Coefficiente r ² ajustado	: 0,8992

Classificação : Correlação Fortíssima

Tabela de Somatórios

	1	Índice de Vazios (%)	Vermiculita (%)	Arg. Expandida (%)
Índice de Vazios (%)	2,729	0,771	6,016	$1,191 \times 10^6$
Vermiculita (%)	25,934	6,016	113,321	$1,020 \times 10^7$
Arg. Expandida (%)	$4,250 \times 10^6$	$1,191 \times 10^6$	$1,020 \times 10^7$	$4,031 \times 10^{12}$

Análise da Variância

Fonte de erro	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	$2,460 \times 10^{-2}$	2	$1,230 \times 10^{-2}$	41,15
Residual	$2,093 \times 10^{-3}$	7	$2,990 \times 10^{-4}$	
Total	$2,670 \times 10^{-2}$	9	$2,966 \times 10^{-3}$	

F Calculado	: 41,15
F Tabelado	: 4,737 (para o nível de significância de 5,000 %)
Significância do modelo	igual a $1,3 \times 10^{-2}\%$

Aceita-se a hipótese de existência da regressão.

Correlações Parciais

	Índice de Vazios (%)	Vermiculita (%)	Arg. Expandida (%)
Índice de Vazios (%)	1,0000	-0,9587	0,1283
Vermiculita (%)	-0,9587	1,0000	-0,0808
Arg. Expandida (%)	0,1283	-0,0808	1,0000

Teste t das Correlações Parciais

Valores calculados para as estatísticas t :

	Índice de Vazios (%)	Vermiculita (%)	Arg. Expandida (%)
Índice de Vazios (%)	∞	-8,912	0,342
Vermiculita (%)	-8,912	∞	-0,2145
Arg. Expandida (%)	0,342	-0,2145	∞

Valor t tabelado (t crítico) : 2,365 (para o nível de significância de 5,00 %)

Significância dos Regressores (bicaudal)

(Teste bicaudal - significância 5,00%)

Coefficiente t de Student : t(crítico) = 2,3646

Variável	Coefficiente	t Calculado	Significância	Aceito
Vermiculita (%)	b1	-9,020	$4,2 \times 10^{-3}\%$	Sim
Arg. Expandida (%)	b2	0,483	64%	Não

Um dos regressores não é importante na formação do modelo.

Significância dos Regressores (unicaudal)

(Teste unicaudal - significância 5,00%)

Coefficiente t de Student : t(crítico) = 1,8946

Variável	Coefficiente	t Calculado	Significância
Vermiculita (%)	b1	-8,990	$2,1 \times 10^{-3}\%$
Arg. Expandida (%)	b2	0,482	32%

Tabela de Resíduos

Resíduos da variável dependente $1/[\text{Índice de Vazios } (\%)]^{1/2}$.

Nº Am.	Observado	Estimado	Resíduo	Normalizado	Studentizado	Quadrático
1	0,323	0,330	$-6,763 \times 10^{-3}$	-0,391	-0,483	$4,575 \times 10^{-5}$
2	0,355	0,330	$2,514 \times 10^{-2}$	1,454	1,798	$6,323 \times 10^{-4}$
3	0,228	0,223	$5,359 \times 10^{-3}$	0,309	0,360	$2,872 \times 10^{-5}$
4	0,201	0,223	$-2,210 \times 10^{-2}$	-1,278	-1,485	$4,884 \times 10^{-4}$
5	0,341	0,335	$6,204 \times 10^{-3}$	0,358	0,452	$3,849 \times 10^{-5}$
6	0,311	0,335	$-2,420 \times 10^{-2}$	-1,399	-1,766	$5,856 \times 10^{-4}$
7	0,252	0,246	$6,316 \times 10^{-3}$	0,365	0,398	$3,989 \times 10^{-5}$
8	0,238	0,246	$-8,193 \times 10^{-3}$	-0,473	-0,517	$6,713 \times 10^{-5}$
9	0,237	0,229	$8,574 \times 10^{-3}$	0,495	0,619	$7,352 \times 10^{-5}$
10	0,238	0,229	$9,656 \times 10^{-3}$	0,558	0,698	$9,324 \times 10^{-5}$

Estatística dos Resíduos

Número de elementos : 10
 Graus de liberdade : 9
 Valor médio : $1,084 \times 10^{-20}$
 Variância : $2,093 \times 10^{-4}$
 Desvio padrão : $1,446 \times 10^{-2}$
 Desvio médio : $1,225 \times 10^{-2}$
 Variância (não tendenciosa) : $2,990 \times 10^{-4}$
 Desvio padrão (não tend.) : $1,729 \times 10^{-2}$
 Valor mínimo : $-2,420 \times 10^{-2}$
 Valor máximo : $2,514 \times 10^{-2}$
 Amplitude : $4,934 \times 10^{-2}$
 Número de classes : 4
 Intervalo de classes : $1,233 \times 10^{-2}$

Momentos Centrais

Momento central de 1ª ordem : $1,084 \times 10^{-20}$
 Momento central de 2ª ordem : $2,093 \times 10^{-4}$
 Momento central de 3ª ordem : $-7,747 \times 10^{-7}$
 Momento central de 4ª ordem : $-7,747 \times 10^{-8}$

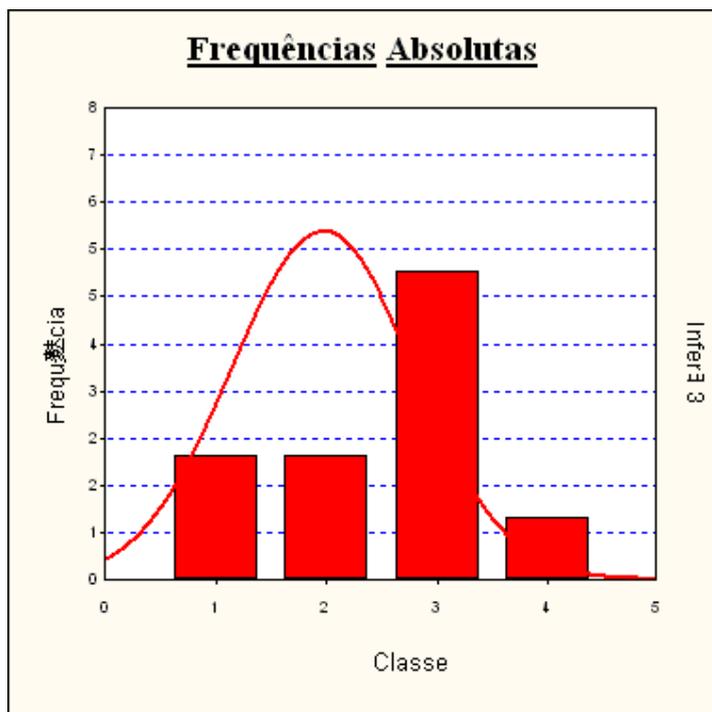
Coefficiente	Amostral	Normal	t de Student
Assimetria	-0,255	0	0
Curtose	-4,768	0	Indefinido

Distribuição assimétrica à esquerda e platicúrtica.

Intervalos de Classes

Classe	Mínimo	Máximo	Freq.	Freq.(%)	Média
1	$-2,420 \times 10^{-2}$	$-1,186 \times 10^{-2}$	2	20,00	$-2,315 \times 10^{-2}$
2	$-1,186 \times 10^{-2}$	$4,735 \times 10^{-4}$	2	20,00	$-7,478 \times 10^{-3}$
3	$4,735 \times 10^{-4}$	$1,281 \times 10^{-2}$	5	50,00	$7,222 \times 10^{-3}$
4	$1,281 \times 10^{-2}$	$2,514 \times 10^{-2}$	1	10,00	$2,514 \times 10^{-2}$

Histograma



Amostragens eliminadas

Todas as amostragens foram utilizadas. Não houveram amostragens eliminadas.

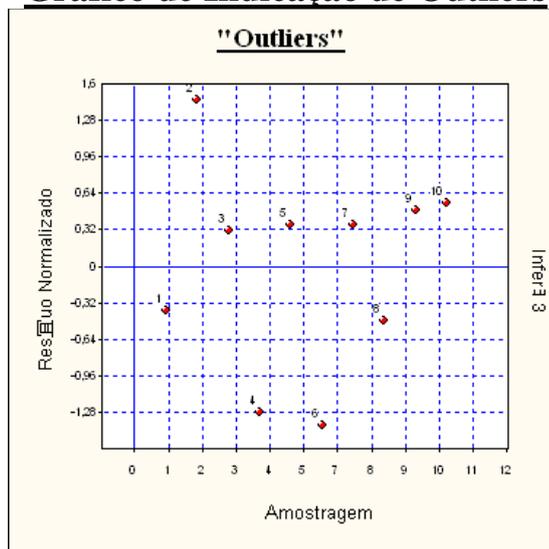
Presença de Outliers

Critério de identificação de outlier :

Intervalo de $\pm 2,00$ desvios padrões em torno da média.

Nenhuma amostragem foi encontrada fora do intervalo. Não existem outliers.

Gráfico de Indicação de Outliers



Efeitos de cada Observação na Regressão

F tabelado : 18,77 (para o nível de significância de 0,10 %)

Nº Am.	Distância de Cook(*)	Hii(**)	Aceito
1	$4,135 \times 10^{-2}$	0,346	Sim
2	0,571	0,346	Sim
3	$1,514 \times 10^{-2}$	0,259	Sim
4	0,257	0,259	Sim
5	$4,061 \times 10^{-2}$	0,372	Sim
6	0,617	0,372	Sim
7	$1,021 \times 10^{-2}$	0,161	Sim
8	$1,718 \times 10^{-2}$	0,161	Sim
9	$7,210 \times 10^{-2}$	0,360	Sim
10	$9,144 \times 10^{-2}$	0,360	Sim

(*) A distância de Cook corresponde à variação máxima sofrida pelos coeficientes do modelo quando se retira o elemento da amostra. Não deve ser maior que F tabelado.
 Todos os elementos da amostragem passaram pelo teste de consistência.

Distribuição dos Resíduos Normalizados

Intervalo	Distribuição de Gauss	% de Resíduos no Intervalo
-1; +1	68,3 %	70,00 %
-1,64; +1,64	89,9 %	100,00 %
-1,96; +1,96	95,0 %	100,00 %

Teste de Kolmogorov-Smirnov

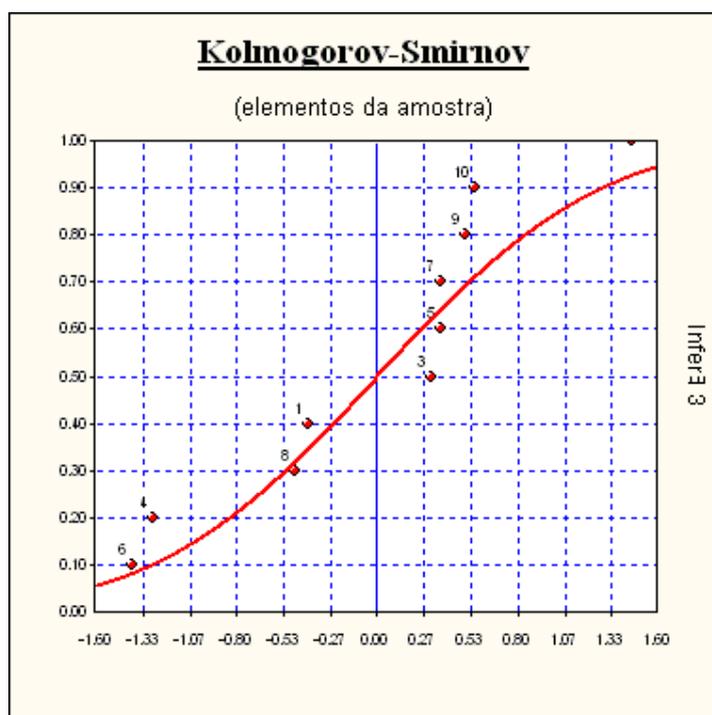
Amostr.	Resíduo	F(z)	G(z)	Dif. esquerda	Dif. Direita
6	$-2,420 \times 10^{-2}$	0,0808	0,1000	$8,083 \times 10^{-2}$	$1,916 \times 10^{-2}$
4	$-2,210 \times 10^{-2}$	0,1006	0,2000	$6,224 \times 10^{-4}$	$9,937 \times 10^{-2}$
8	$-8,193 \times 10^{-3}$	0,318	0,3000	0,117	$1,780 \times 10^{-2}$
1	$-6,763 \times 10^{-3}$	0,348	0,4000	$4,784 \times 10^{-2}$	$5,215 \times 10^{-2}$
3	$5,359 \times 10^{-3}$	0,622	0,5000	0,221	0,121
5	$6,204 \times 10^{-3}$	0,640	0,6000	0,140	$4,011 \times 10^{-2}$
7	$6,316 \times 10^{-3}$	0,643	0,7000	$4,254 \times 10^{-2}$	$5,745 \times 10^{-2}$
9	$8,574 \times 10^{-3}$	0,690	0,8000	$9,998 \times 10^{-3}$	0,109
10	$9,656 \times 10^{-3}$	0,712	0,9000	$8,828 \times 10^{-2}$	0,188
2	$2,514 \times 10^{-2}$	0,927	1,0000	$2,705 \times 10^{-2}$	$7,294 \times 10^{-2}$

Maior diferença obtida : 0,221

Valor crítico : 0,4090 (para o nível de significância de 5 %)

Aceita-se a hipótese alternativa de que há normalidade.

Gráfico de Kolmogorov-Smirnov



Teste de Sequências/Sinais

Número de elementos positivos .. : 6
 Número de elementos negativos . : 4
 Número de sequências : 8
 Média da distribuição de sinais : 5
 Desvio padrão : 1,581

Teste de Sequências

(desvios em torno da média) :

Limite inferior : 1,8966
 Limite superior . : 1,1941
 Intervalo para a normalidade : [-1,6452 , 1,6452] (para o nível de significância de 5%)

Pelo teste de sequências, aceita-se a hipótese da aleatoriedade dos sinais dos resíduos.

Teste de Sinais

(desvios em torno da média)

Valor z (calculado) : 0,6325
 Valor z (crítico) : 1,6452 (para o nível de significância de 5%)

Pelo teste de sinais, aceita-se a hipótese nula, podendo ser afirmado que a distribuição dos desvios em torno da média segue a curva normal (curva de Gauss).

Autocorrelação

Estatística de Durbin-Watson (DW) : 2,5385
(nível de significância de 5,0%)

Autocorrelação positiva (DW < DL) : DL = 0,95
Autocorrelação negativa (DW > 4-DL) : 4-DL = 3,05

Intervalo para ausência de autocorrelação (DU < DW < 4-DU)
DU = 1,54 4-DU = 2,46

Pelo teste de Durbin-Watson, não existe autocorrelação.

ANEXO D

Resultados do modelo para cálculo da massa específica

Infer versão 3 - Modo de Estatística Inferencial.

Data : 17/Nov/2011

Observações :

(a) Regressores testados a um nível de significância de 5,00%

(b) Critério de identificação de outlier :

Intervalo de +/- 2,00 desvios padrões em torno da média.

(c) Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, a um nível de significância de 5%

(d) Teste de auto-correlação de Durbin-Watson, a um nível de significância de 5,0%

Descrição das Variáveis

Variável Dependente :

- Massa Esp (kg/m3)

Variáveis Independentes :

- Vermiculita (%)
- Arg. Expandida (%)

Estatísticas Básicas

Nº de elementos da amostra : 10
 Nº de variáveis independentes : 2
 Nº de graus de liberdade : 7
 Desvio padrão da regressão : $1,540 \times 10^5$

Variável	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação
Massa Esp (kg/m3) ²	$3,034 \times 10^6$	$1,307 \times 10^6$	43,07%
Vermiculita (%) ^{1/3}	2,593	2,262	87,23%
Arg. Expandida (%)	50,00	47,140	94,28%

Número mínimo de amostragens para 2 variáveis independentes : 7.

Estatísticas das Variáveis Não Transformadas

Nome da Variável	Valor médio	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo	Amplitude total	Coeficiente de variação
Massa Esp (kg/m3)	1700,99	396,489	1067,12	2263,41	1196,29	23,309
Vermiculita (%)	50,00	47,140	0,00	100,00	100,00	94,280
Arg. Expandida (%)	50,00	47,140	0,00	100,00	100,00	94,280

Tabela de valores estimados e observados

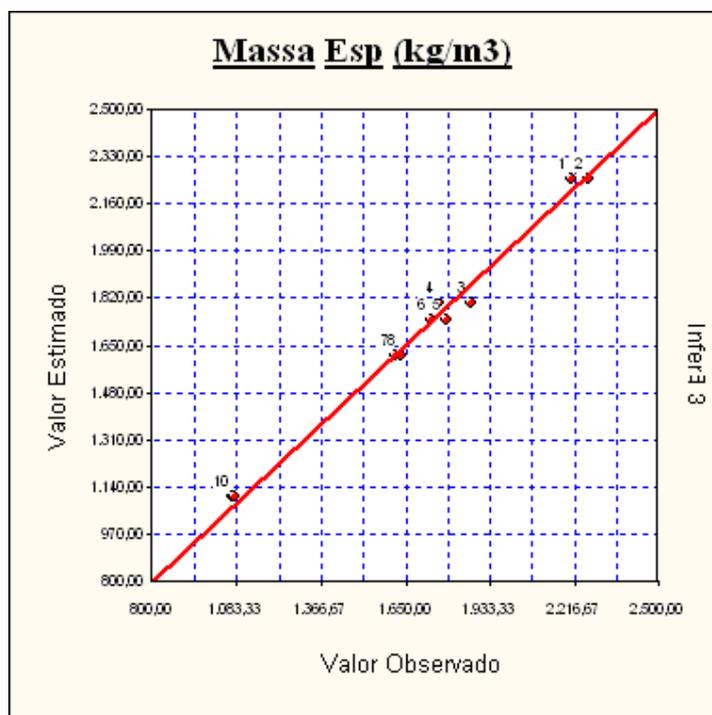
Valores para a variável Massa Esp (kg/m³).

Nº Am.	Valor observado	Valor estimado	Diferença	Varição %
1	2.204,98	2.249,22	44,24	2,0065 %
2	2.263,41	2.249,22	-14,19	-0,6268 %
3	1.870,91	1.802,29	-68,62	-3,6676 %
4	1.760,92	1.802,29	41,37	2,3495 %
5	1.784,46	1.741,89	-42,57	-2,3857 %
6	1.733,60	1.741,89	8,29	0,4781 %
7	1.615,38	1.615,36	-0,02	-0,0010 %
8	1.632,84	1.615,36	-17,48	-1,0703 %
9	1.067,12	1.106,09	38,97	3,6519 %
10	1.076,29	1.106,09	29,80	2,7687 %

A *variação (%)* é calculada como a diferença entre os valores observado e estimado, dividida pelo valor observado.

As *variações percentuais* são normalmente menores em valores estimados e observados maiores, não devendo ser usadas como elemento de comparação entre as amostragens.

Valores Estimados x Valores Observados



Modelo da Regressão

$$[\text{Massa Esp (kg/m}^3)]^2 = 5058999 - 390112 \times [\text{Vermiculita (\%)}]^{1/3} - 20248 \times [\text{Arg. Expandida (\%)}]$$

Modelo para a Variável Dependente

$$[\text{Massa Esp (kg/m}^3)] = (5058999 - 390112 \times [\text{Vermiculita (\%)}]^{1/3} - 20248 \times [\text{Arg. Expandida (\%)}])^{1/2}$$

Regressores do Modelo

Intervalo de confiança de 95,00%.

Variáveis	Coefficiente	D. Padrão	Mínimo	Máximo
Vermiculita (%)	b1 = -3,901x10 ⁵	22702,412	-4,437x10 ⁵	-3,364x10 ⁵
Arg. Expandida (%)	b2 = -20248,233	1089,504	-22824,502	-17671,964

Correlação do Modelo

Coeficiente de correlação (r) : 0,9946
 Valor t calculado : 25,31
 Valor t tabelado (t crítico) : 2,365 (para o nível de significância de 5,00 %)
 Coeficiente de determinação (r²) ... : 0,9892
 Coeficiente r² ajustado : 0,9861

Classificação : Correlação Fortíssima

Análise da Variância

Fonte de erro	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F calculado
Regressão	1,520x10 ¹³	2	7,604x10 ¹²	320,3
Residual	1,661x10 ¹¹	7	2,374x10 ¹⁰	
Total	1,537x10¹³	9	1,708x10¹²	

F Calculado : 320,3
 F Tabelado : 4,737 (para o nível de significância de 5,000 %)
 Significância do modelo igual a 1,3x10⁻⁵%

Aceita-se a hipótese de existência da regressão.

Correlações Parciais

	Massa Esp (kg/m ³)	Vermiculita (%)	Arg. Expandida (%)
Massa Esp (kg/m ³)	1,0000	-0,6752	-0,7303
Vermiculita (%)	-0,6752	1,0000	0,0000
Arg. Expandida (%)	-0,7303	0,0000	1,0000

Teste t das Correlações Parciais

Valores calculados para as estatísticas t :

	Massa Esp (kg/m ³)	Vermiculita (%)	Arg. Expandida (%)
Massa Esp (kg/m ³)	∞	-2,422	-2,828
Vermiculita (%)	-2,422	∞	$2,448 \times 10^{-19}$
Arg. Expandida (%)	-2,828	$2,448 \times 10^{-19}$	∞

Valor t tabelado (t crítico) : 2,365 (para o nível de significância de 5,00 %)

Significância dos Regressores (bicaudal)

(Teste bicaudal - significância 5,00%)

Coeficiente t de Student : t(crítico) = 2,3646

Variável	Coeficiente	t Calculado	Significância	Aceito
Vermiculita (%)	b1	-17,18	$5,5 \times 10^{-5}\%$	Sim
Arg. Expandida (%)	b2	-18,58	$3,2 \times 10^{-5}\%$	Sim

*Os coeficientes são importantes na formação do modelo.
Aceita-se a hipótese de β diferente de zero.*

Significância dos Regressores (unicaudal)

(Teste unicaudal - significância 5,00%)

Coeficiente t de Student : t(crítico) = 1,8946

Variável	Coeficiente	t Calculado	Significância
Vermiculita (%)	b1	-17,18	$2,8 \times 10^{-5}\%$
Arg. Expandida (%)	b2	-18,58	$1,6 \times 10^{-5}\%$

Tabela de Resíduos

Resíduos da variável dependente [Massa Esp (kg/m³)]².

Nº Am.	Observado	Estimado	Resíduo	Normalizado	Studentizado	Quadrático
1	$4,861 \times 10^6$	$5,058 \times 10^6$	$-1,970 \times 10^5$	-1,278	-1,612	$3,883 \times 10^{10}$
2	$5,123 \times 10^6$	$5,058 \times 10^6$	64025,809	0,415	0,523	$4,099 \times 10^9$
3	$3,500 \times 10^6$	$3,248 \times 10^6$	$2,520 \times 10^5$	1,635	1,978	$6,352 \times 10^{10}$
4	$3,100 \times 10^6$	$3,248 \times 10^6$	$-1,474 \times 10^5$	-0,956	-1,156	$2,173 \times 10^{10}$
5	$3,184 \times 10^6$	$3,034 \times 10^6$	$1,501 \times 10^5$	0,974	1,228	$2,253 \times 10^{10}$
6	$3,005 \times 10^6$	$3,034 \times 10^6$	-28806,710	-0,186	-0,235	$8,298 \times 10^8$
7	$2,609 \times 10^6$	$2,609 \times 10^6$	51,490	$3,341 \times 10^{-4}$	$3,574 \times 10^{-4}$	2651,263
8	$2,666 \times 10^6$	$2,609 \times 10^6$	56765,411	0,368	0,394	$3,222 \times 10^9$
9	$1,138 \times 10^6$	$1,223 \times 10^6$	-84689,315	-0,549	-0,664	$7,172 \times 10^9$
10	$1,158 \times 10^6$	$1,223 \times 10^6$	-65034,246	-0,422	-0,510	$4,229 \times 10^9$

Estatística dos Resíduos

Número de elementos : 10
 Graus de liberdade : 9
 Valor médio : $3,410 \times 10^{-14}$
 Variância : $1,661 \times 10^{10}$
 Desvio padrão : $1,289 \times 10^5$
 Desvio médio : $1,046 \times 10^5$
 Variância (não tendenciosa) : $2,374 \times 10^{10}$
 Desvio padrão (não tend.) : $1,540 \times 10^5$
 Valor mínimo : $-1,970 \times 10^5$
 Valor máximo : $2,520 \times 10^5$
 Amplitude : $4,491 \times 10^5$
 Número de classes : 4
 Intervalo de classes : $1,122 \times 10^5$

Momentos Centrais

Momento central de 1ª ordem : $3,410 \times 10^{-14}$
 Momento central de 2ª ordem : $1,661 \times 10^{10}$
 Momento central de 3ª ordem : $8,077 \times 10^{14}$
 Momento central de 4ª ordem : $8,077 \times 10^{13}$

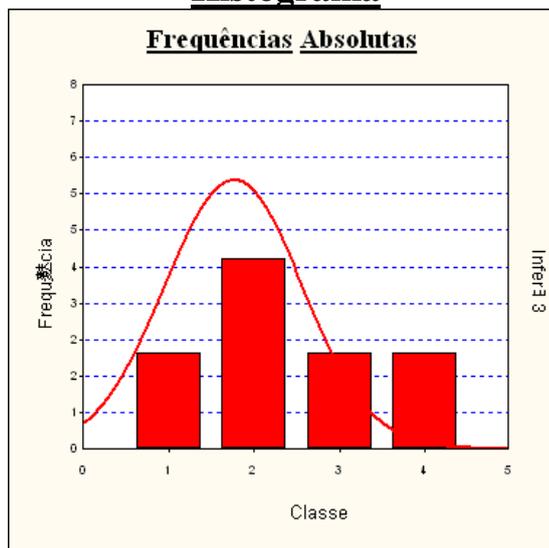
Coefficiente	Amostral	Normal	t de Student
Assimetria	0,377	0	0
Curtose	-2,999	0	Indefinido

Distribuição assimétrica à direita e platicúrtica.

Intervalos de Classes

Classe	Mínimo	Máximo	Freq.	Freq.(%)	Média
1	$-1,970 \times 10^5$	-84785,046	2	20,00	$-1,722 \times 10^5$
2	-84785,046	27492,125	4	40,00	-44619,695
3	27492,125	$1,397 \times 10^5$	2	20,00	60395,610
4	$1,397 \times 10^5$	$2,520 \times 10^5$	2	20,00	$2,010 \times 10^5$

Histograma



Amostragens eliminadas

Todas as amostragens foram utilizadas. Não houveram amostragens eliminadas.

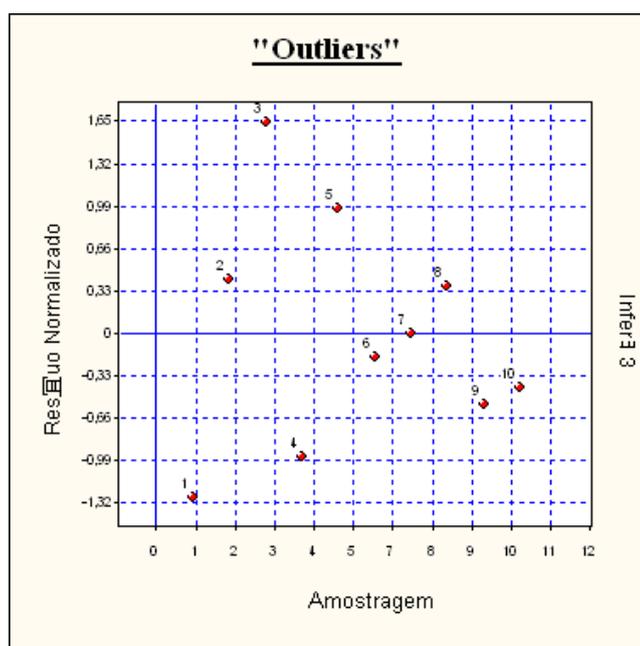
Presença de Outliers

Critério de identificação de outlier :

Intervalo de +/- 2,00 desvios padrões em torno da média.

Nenhuma amostragem foi encontrada fora do intervalo. Não existem outliers.

Gráfico de Indicação de Outliers



Efeitos de cada Observação na Regressão

F tabelado : 18,77 (para o nível de significância de 0,10 %)

Nº Am.	Distância de Cook(*)	Hii(**)	Aceito
1	0,511	0,371	Sim
2	$5,397 \times 10^{-2}$	0,371	Sim
3	0,602	0,316	Sim
4	0,206	0,316	Sim
5	0,296	0,371	Sim
6	$1,092 \times 10^{-2}$	0,371	Sim
7	$6,129 \times 10^{-9}$	0,125	Sim
8	$7,449 \times 10^{-3}$	0,125	Sim
9	$6,804 \times 10^{-2}$	0,316	Sim
10	$4,012 \times 10^{-2}$	0,316	Sim

(*) A distância de Cook corresponde à variação máxima sofrida pelos coeficientes do modelo quando se retira o elemento da amostra. Não deve ser maior que F tabelado.
 Todos os elementos da amostragem passaram pelo teste de consistência.

Distribuição dos Resíduos Normalizados

Intervalo	Distribuição de Gauss	% de Resíduos no Intervalo
-1; +1	68,3 %	80,00 %
-1,64; +1,64	89,9 %	100,00 %
-1,96; +1,96	95,0 %	100,00 %

Teste de Kolmogorov-Smirnov

Amostr.	Resíduo	F(z)	G(z)	Dif. esquerda	Dif. Direita
1	-1,970x10 ⁵	0,1005	0,1000	0,100	4,544x10 ⁻⁴
4	-1,474x10 ⁵	0,1693	0,2000	6,934x10 ⁻²	3,065x10 ⁻²
9	-84689,315	0,291	0,3000	9,128x10 ⁻²	8,719x10 ⁻³
10	-65034,246	0,336	0,4000	3,648x10 ⁻²	6,351x10 ⁻²
6	-28806,710	0,426	0,5000	2,584x10 ⁻²	7,415x10 ⁻²
7	51,490	0,500	0,6000	1,333x10 ⁻⁴	9,986x10 ⁻²
8	56765,411	0,644	0,7000	4,371x10 ⁻²	5,628x10 ⁻²
2	64025,809	0,661	0,8000	3,887x10 ⁻²	0,138
5	1,501x10 ⁵	0,835	0,9000	3,505x10 ⁻²	6,494x10 ⁻²
3	2,520x10 ⁵	0,949	1,0000	4,906x10 ⁻²	5,093x10 ⁻²

Maior diferença obtida : 0,138

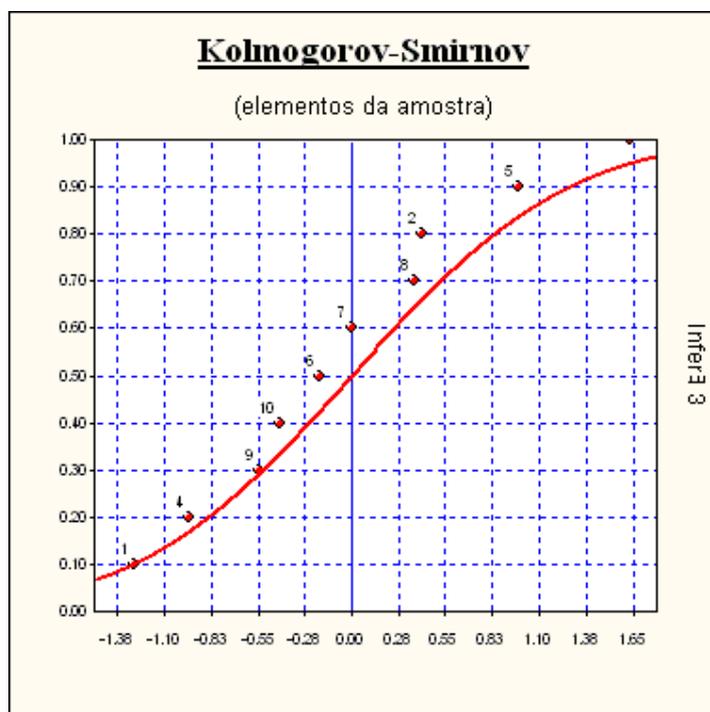
Valor crítico : 0,4090 (para o nível de significância de 5 %)

Aceita-se a hipótese alternativa de que há normalidade.

Observação:

O teste de Kolmogorov-Smirnov tem valor aproximado quando é realizado sobre uma população cuja distribuição é desconhecida, como é o caso das avaliações pelo método comparativo.

Gráfico de Kolmogorov-Smirnov



Teste de Sequências/Sinais

Número de elementos positivos ..	: 5
Número de elementos negativos .	: 5
Número de sequências	: 7
Média da distribuição de sinais	: 5
Desvio padrão	: 1,581

Teste de Sequências

(desvios em torno da média) :

Limite inferior	: 1,0062
Limite superior .	: 0,3354
Intervalo para a normalidade :	[-1,6452 , 1,6452] (para o nível de significância de 5%)

Pelo teste de sequências, aceita-se a hipótese da aleatoriedade dos sinais dos resíduos.

Teste de Sinais

(desvios em torno da média)

Valor z (calculado)	: 0,0000
Valor z (crítico)	: 1,6452 (para o nível de significância de 5%)

Pelo teste de sinais, aceita-se a hipótese nula, podendo ser afirmado que a distribuição dos desvios em torno da média segue a curva normal (curva de Gauss).

Autocorrelação

Estadística de Durbin-Watson (DW)	: 2,4556
(nível de significância de 5,0%)	
Autocorrelação positiva (DW < DL)	: DL = 0,95
Autocorrelação negativa (DW > 4-DL)	: 4-DL = 3,05
Intervalo para ausência de autocorrelação (DU < DW < 4-DU)	
	DU = 1,54 4-DU = 2,46

Pelo teste de Durbin-Watson, não existe autocorrelação.