



PROJETO DE GRADUAÇÃO

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DA
VIBRAÇÃO NA RESISTÊNCIA DE BLOCOS DE
CONCRETO PRODUZIDOS EM MÁQUINAS
VIBRO-COMPACTADORAS**

Por,

Vitor Soares Rabelo Adriano

Brasília, 9 de julho de 2013

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA
UNIVERSIDADE DE BRASILIA

Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DA VIBRAÇÃO NA RESISTÊNCIA DE BLOCOS DE CONCRETO PRODUZIDOS EM MÁQUINAS VIBRO-COMPACTADORAS

POR,

Vitor Soares Rabelo Adriano

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico.

Banca Examinadora

Prof. Guilherme Caribé Carvalho, UnB/ ENM (Orientador) _____

Prof. Aline Souza de Paula, UnB/ ENM (Coorientadora) _____

Prof. Mário Olavo M. Carvalho, UnB/ ENM _____

Prof. Antônio Manuel Dias Henriques, UnB/ ENM _____

Brasília, 9 de julho de 2013

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a minha família que me ofereceu valores e educação para que eu chegasse até aqui. Agradeço a meu pai, minha mãe e meu irmão por todo o suporte que me deram em todos os momentos da minha vida.

Agradeço ao Ricardo Caribé diretor da empresa PREMOTECNO que permitiu que fosse inserido nesse trabalho um projeto desenvolvido na empresa.

Ao professor Mario Olavo, por todas as contribuições para com esse estudo.

Ao professor Guilherme, meu orientador.

Agradeço especialmente a Professora Aline Souza por todo auxílio. Agradeço por todas as recomendações, dicas e correções. Muito obrigado professora!

Esse trabalho apresenta uma análise da dinâmica de uma máquina vibro-compactadora utilizada para fabricação de blocos de concreto, visando compreender a influência da vibração imposta à forma e a influência das propriedades do pallet, na resistência dos blocos fabricados. Inicialmente, foi construído um aparato experimental para avaliar a rigidez e o amortecimento dos pallets. Em seguida, ensaios de compressão foram realizados em blocos produzidos nesses pallets, com o intuito de relacionar a rigidez do pallet com a resistência do bloco. Observou-se, em geral, um aumento na resistência do bloco quando se fez uso de pallets com maior rigidez. Além disso, foram realizadas medições da aceleração na forma do bloco em uma máquina vibro-compactadora durante a fabricação de blocos de concreto. Em seguida, as acelerações foram relacionadas com a resistência do bloco. Desta análise, concluiu-se que a aceleração à qual a forma é submetida é um importante parâmetro que influencia diretamente na qualidade do bloco. Essa constatação, somada à dificuldade de instrumentação da máquina, motivou o desenvolvimento de um acelerômetro com transmissão de dados sem fio para monitoração dessa aceleração. Construiu-se um primeiro protótipo baseado em acelerômetro tipo MEMS com transmissão de dados por ondas de rádio (padrão IEEE 802.15.4). Este, entretanto, não apresentou a taxa de amostragem necessária para esse tipo de monitoramento, necessitando de reprojeto em sua parte relacionada à transmissão de dados.

Palavras-chave: Bloco de concreto; vibração; pallet; adensamento; resistência; acelerômetro *wireless*.

ABSTRACT

This work presents a dynamic analysis of a concrete block machine in order to understand the influence of block mold vibrations and pallets properties in the resistance of the manufactured blocks. Initially, an experimental apparatus was constructed to evaluate the stiffness and damping of the pallets. Then, blocks produced with the use of evaluated pallets were submitted to compression tests in order to relate the pallet stiffness with the resistance of the block. It was observed, in general, an increase in the block resistance when pallets with higher stiffness were used. In addition, acceleration measurements were made in the block mold during block manufacturing in order to relate this acceleration with block resistance. From this analysis one can conclude that the block mold acceleration time history is an important parameter that directly influences the block quality. This verification, together with the machine instrumentation difficulty, motivated the development of an accelerometer with wireless data transmission.

Keywords: concrete block; pallet; vibration; block resistance; wireless accelerometer.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	1
1.1 OBJETIVO	2
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 NORMA REGULAMENTADORA.....	3
2.2 TIPOS DE MÁQUINAS	3
2.2.1 Máquinas manuais	3
2.2.2 Máquinas pneumáticas	4
2.2.3 Máquinas hidráulicas	4
2.3 RELAÇÃO DO TIPO DE MÁQUINA UTILIZADA COM A QUANTIDADE DE CIMENTO NECESSÁRIA.....	5
2.4 A IMPORTÂNCIA DA VIBRAÇÃO NO ADENSAMENTO DO CONCRETO	6
2.5 A INFLUÊNCIA DOS PALLETS NA QUALIDADE DOS BLOCOS PRODUZIDOS.....	7
3. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA ANALISADO.....	9
3.1 MÁQUINA ANALISADA.....	9
3.2 FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA	10
3.2.1 Etapas do processo de fabricação.....	10
3.3 MECANISMO VIBRATÓRIO.....	13
3.3.1 Transmissão da vibração à forma	15
3.4 TEOREMA DO IMPULSO.....	18
3.5 REGULAGEM DA ALTURA DA MESA.....	19
3.6 INFLUÊNCIAS DA RIGIDEZ E AMORTECIMENTO DOS COXINS NA ACELERAÇÃO DA FORMA	20
3.6.1 Análise da rigidez e amortecimento do coxim	22
3.7 INFLUÊNCIAS DA RIGIDEZ DOS PALLETS NA ACELERAÇÃO DA FORMA	23
3.8 VIBRAÇÃO DA MESA	25
4. ANÁLISE EXPERIMENTAL DOS PALLETS	28
4.1 MOTIVAÇÃO PARA A CONSTRUÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL.....	28
4.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO MÉTODO EXPERIMENTAL.....	29
4.3 DESCRIÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL	31
4.3.1 Cálculo da altura h_0	33
4.4 METODOLOGIA E RESULTADOS	34
5. RESISTÊNCIA DOS BLOCOS.....	38
5.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	38
5.2 RELAÇÃO DA ACELERAÇÃO AFERIDA NA FORMA COM A RESISTÊNCIA DOS BLOCOS PRODUZIDOS.....	40
5.3 RELAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO BLOCO COM O PARÂMETRO DE RIGIDEZ DO PALLET	41
6. ACELERÔMETRO WIRELESS.....	43
6.1 MOTIVAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO	43
6.2 PRINCIPAIS COMPONENTES	44
6.2.1 Sensor de aceleração	44
6.2.2 Microprocessador.....	45
6.2.3 Transmissão de dados.....	46
6.3 FUNCIONAMENTO BÁSICO DO SISTEMA.....	47
6.4 PROTÓTIPO.....	48
6.5 RESOLUÇÃO E TAXA DE AMOSTRAGEM	49
6.5.1 Resolução.....	49
6.5.2 Taxa de amostragem	49
6.6 TESTES DE AFERIÇÃO.....	50
6.7 MEDIÇÃO NA MÁQUINA VIBRO-COMPACTADORA.....	56
6.7.1 Efeito Aliasing	58
7. CONCLUSÕES	61
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	62
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
10. ANEXOS	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Máquina manual.....	4
Figura 2 – Máquina pneumática.....	4
Figura 3 – Máquina hidráulica.....	5
Figura 4 – Comparação do tipo de máquina com a quantidade de cimento utilizada na fabricação do bloco.....	6
Figura 5 – Pallets de diferentes materiais.....	7
Figura 6 – Localização do pallet na máquina de blocos de concreto.....	8
Figura 7 – Características técnicas da máquina Tprex modelo VP-500 H3.....	9
Figura 8 – Máquina Tprex modelo VP-500 H3.....	10
Figura 9 – Enchimento do silo de agregados.....	11
Figura 10 – Enchimento da forma dos blocos.....	11
Figura 11 – Compressão da mistura.....	12
Figura 12 – Subida da forma e retirada dos blocos.....	13
Figura 13 – Desenho esquemático da mesa vibratória.....	13
Figura 14 – Componentes da máquina.....	14
Figura 15 – Vista explodida do vibroturbo.....	14
Figura 16 - Movimento vibratório causado pelo giro do eixo excêntrico (Fonte: ACI COMMITTEE 309, 1993 pg 17).....	15
Figura 17 – Desenho esquemático do sistema vibratório da máquina.....	16
Figura 18 – Vista frontal da forma - Diagrama de corpo livre (vibração vertical).....	16
Figura 19 – Vista lateral da forma- Diagrama de corpo livre (vibração horizontal).....	17
Figura 20 – Forças F_m e F_l aplicadas na mola pela forma.....	17
Figura 21 – Fixação da forma no mancal inferior.....	18
Figura 22 – Diferença de altura entre a mesa e a estrutura que dá apoio aos pallets.....	19
Figura 23 – Parafusos de regulagem da altura da mesa.....	19
Figura 24 – Desenho esquemático do sistema vibratório da máquina.....	21
Figura 25 – Posição dos coxins e molas na máquina.....	21
Figura 26 – Diagrama de corpo livre da mesa.....	22
Figura 27 - Esquemático de um impulso sendo aplicado ao pallet.....	23
Figura 28 – Gráficos de aceleração, resposta em frequência e deslocamento (eixo horizontal).....	26
Figura 29 – Gráficos de aceleração, resposta em frequência e deslocamento (eixo vertical).....	27
Figura 30 - Cálculos de deformação durante o processo de impacto entre o pallet e as saliências da mesa (Fonte: SCHWABE, 2010 pg 76).....	29
Figura 31 – Diagrama do princípio funcional do martelo de queda livre (Fonte: SCHWABE, 2010 pg 76).....	30

Figura 32 – Gráfico da aceleração no tempo obtido através do ensaio de um pallet (Fonte: SCHWABE, 2010 pg 77).	31
Figura 33 – Componentes do aparato.	32
Figura 34 – Bloco de alumínio com mancal linear.	32
Figura 35 - Haste pivotada. Figura 36– Acelerômetro fixado ao peso.	33
Figura 37– A região marcada em vermelho representa a área da grelha que entra em contato com o pallet (<i>Am</i>).	34
Figura 38– Pallets avaliados numerados.	34
Figura 39 – Regiões do pallet onde foram feitas as medições.	35
Figura 40 – Gráfico da aceleração no tempo obtido através de uma medição no pallet.	35
Figura 41– <i>Curve Fit</i> exponencial dos pontos apresentados na Fig. (49).	36
Figura 42 - <i>ka</i> médio versus tempo de uso dos pallets.	37
Figura 43- Máquina utilizada para o ensaio de compressão dos blocos.	38
Figura 44– Resistência à compressão versus tempo de uso dos pallets.	39
Figura 45– Aceleração aferida na forma.	40
Figura 46– Média dos picos de aceleração por ciclo X Resistência dos blocos produzidos.	41
Figura 47 – <i>ka</i> versus Resistência à compressão	42
Figura 48– Acelerômetro ADXL 377.	44
Figura 49– Microprocessador Atmel ATmega328.	46
Figura 50– Xbee-pro.	46
Figura 51– Esquemático da estrutura do acelerômetro.	48
Figura 52 – Disposição dos componentes no interior da caixa de alumínio.	48
Figura 53– Protótipo do acelerômetro com a fonte de alimentação.	49
Figura 54 - Efeito de <i>aliasing</i>	50
Figura 55 – Acelerômetros instalados no <i>Shaker</i>	50
Figura 56 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro 352C03 (<i>shaker</i> excitado em 20 Hz). ...	51
Figura 57 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro <i>wireless</i> (<i>shaker</i> excitado em 20 Hz). ..	51
Figura 58 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro 352C03 (<i>shaker</i> excitado em 40 Hz). ...	52
Figura 59 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro <i>wireless</i> (<i>shaker</i> excitado em 40 Hz). ..	52
Figura 60 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro 352C03 (<i>shaker</i> excitado em 60 Hz). ...	53
Figura 61 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro <i>wireless</i> (<i>shaker</i> excitado em 60 Hz). ..	53
Figura 62 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro 352C03 (<i>shaker</i> excitado em 75 Hz). ...	54
Figura 63 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro <i>wireless</i> (<i>shaker</i> excitado em 75 Hz). ..	54
Figura 64 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro 352C03 (<i>shaker</i> excitado em 90 Hz). ...	55
Figura 65 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro <i>wireless</i> (<i>shaker</i> excitado em 90 Hz). ..	55
Figura 66 – Acelerômetro piezoelétrico preso à aba da forma.	56
Figura 67 – Aceleração aferida na forma em um ciclo de produção.	57
Figura 68 – Espectro de frequências de um ciclo de produção dos blocos.	57

Figura 69 – Protótipo do Acelerômetro desenvolvido e o PCB 352C03 instalados lado a lado na aba da forma.	58
Figura 70 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro PCB 352C03.....	58
Figura 71 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro <i>wireless</i>	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistência à compressão das classes de blocos.....	3
Tabela 2 – Numeração dos pallets quanto ao seu tempo de uso.....	34
Tabela 3 – Valores de ka para cada pallet.	36
Tabela 4 – Resistência à compressão dos blocos produzidos nos doze diferentes pallets.	39
Tabela 5 – Características do acelerômetro.....	45
Tabela 6 – Características do módulo Xbee-pro.	47

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

a	Aceleração	$\left[\frac{m}{s^2} \right]$
A	Amplitude de aceleração	$[m]$
c	Constante de amortecimento	$\left[\frac{N.s}{m} \right]$
e	Excentricidade	$[m]$
F	Força	$[N]$
g	Aceleração da gravidade	$\left[\frac{m}{s^2} \right]$
f	Frequência	$[Hz]$
F_{ali}	Frequência de <i>aliasing</i>	$[Hz]$
F_0	Amplitude de força	$[N]$
h	Altura	$[m]$
I	Impulso	$[N.s]$
k	Constante de rigidez	$\left[\frac{N}{m} \right]$
k_a	Parâmetro adaptado de rigidez	$\left[\frac{m}{s^2} \right]$
l	Comprimento	$[m]$
m	Massa	$[kg]$
Q	Quantidade de movimento	$\left[\frac{Kg.m}{s} \right]$
T	Período	$[s]$
t	Tempo	$[s]$
v	Velocidade	$\left[\frac{m}{s} \right]$
X	Amplitude	$[m]$

Símbolos Gregos

ω	Frequência angular	$\left[\frac{rad}{s} \right]$
ω_a	Frequência de amostragem	$\left[\frac{rad}{s} \right]$
ω_n	Frequência natural	$\left[\frac{rad}{s} \right]$
ω_d	Frequência de vibração amortecida	$\left[\frac{rad}{s} \right]$

ω_s	Frequência do sinal	$\left[\frac{rad}{s}\right]$
Δ	Varição entre duas grandezas similares	
φ	Ângulo de fase	$[rad]$
δ	Decremento logarítmico	
ζ	Fator de amortecimento	
ζ_a	Parâmetro Adaptado do Fator de Amortecimento	

Sobrescritos

- Variação temporal

Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ADC	<i>Analog to Digital Converter</i> (Conversor Analógico Digital)
CLP	Controlador Lógico Programável
NBR	Norma Brasileira

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A indústria de blocos de concreto acompanhou o crescimento do mercado da construção civil no Brasil nos últimos anos. Segundo a Bloco Brasil (Associação Brasileira dos Fabricantes de Blocos de Concreto), o setor conta com cerca de 1300 fabricantes em todo o país, produzindo blocos de qualidade em praticamente todas as regiões.

A alvenaria estrutural com blocos de concreto é um dos sistemas construtivos que mais cresce na atualidade (ANUÁRIO PINI DA CONSTRUÇÃO, 2012). Hoje em dia, os blocos de concreto já são usados em construções de médio e até mesmo de alto padrão, diferentemente do passado onde eram vistos como material para construções populares. A expansão do setor deve-se às vantagens técnicas e econômicas que o sistema oferece, entre as quais destacamos:

- a superfície do bloco de concreto é mais regular que a do cerâmico (tijolo), o que exige uma camada de revestimento menor;
- as tubulações em construções que utilizam blocos de concretos passam por dentro dos blocos, evitando o retrabalho de recortes e passagens de tubos;
- na alvenaria estrutural com o uso de blocos de concreto elimina-se a estrutura convencional de pilares e vigas. Com essa simplificação no processo construtivo se economiza em gastos com formas de madeira e em mão de obra especializada;
- a construção é mais limpa e o desperdício é menor, visto que, não é necessário quebrar os blocos para a passagem de tubulações e mangueiras,
- a utilização de menos argamassa no assentamento;
- a redução no tempo de construção;
- a economia de 15% a 30% no valor da construção.

A maioria dos blocos de concreto é fabricada utilizando máquinas vibro-compactadoras. Essas máquinas utilizam de uma mistura de cimento, areia, pedrisco e água para preencherem uma forma com o formato do bloco. Depois, a mistura é prensada e o bloco é retirado da forma. É importante destacar que o bloco é moldado e compactado em cima de uma placa, localizada em baixo da forma, denominada pallet.

Este pallet fica sobre uma mesa vibratória que, durante todo o processo de fabricação dos blocos, se choca contra o pallet. A vibração é transmitida do pallet para a forma e da forma para a mistura em seu interior. Essa vibração tem como função o melhor adensamento da mistura.

1.1 OBJETIVO

Com o crescimento da utilização de blocos na construção civil, a demanda por produtos de qualidade aumentou. Esse fato compeliu a indústria a melhorar seu processo produtivo. Com isso, diversos estudos são realizados, buscando a compreensão dos diversos fatores que afetam a resistência dos blocos de concreto. Este trabalho tem como principal objetivo a análise de como a vibração imposta à forma influencia na qualidade dos blocos produzido em máquinas vibro-compactadoras. Nessa análise, o pallet, componente do processo produtivo importante na transmissão da vibração para a forma, foi especialmente estudado e suas propriedades de rigidez e amortecimento foram avaliadas por meio de um método experimental. Além disso, motivado pela dificuldade de instrumentação das máquinas, foi desenvolvido um acelerômetro com transmissão de dados sem fio.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Visando alcançar o objetivo proposto o trabalho está organizado em dez capítulos. No Capítulo 1 apresenta-se a introdução do trabalho e o objetivo do estudo, enquanto no Capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica abordando, principalmente, a importância da vibração no adensamento do concreto e a influência dos pallets na qualidade dos blocos produzidos. No Capítulo 3 caracteriza-se a máquina vibro-compactadora utilizada no estudo. No Capítulo 4 apresenta-se um método avaliativo da rigidez e amortecimento do pallet, assim como os resultados obtidos através de ensaios realizados em pallets com diferentes idades de uso. No Capítulo 5 apresentam-se resultados de ensaios a compressão de blocos de concreto produzidos utilizando os pallets avaliados no Capítulo 4, e as relações entre a vibração na forma do bloco, a rigidez do pallet e a resistência do bloco são estabelecidas. No Capítulo 6 aborda-se o desenvolvimento de um acelerômetro com transmissão de dados sem fio, destinado à monitoração da vibração na forma do bloco. No Capítulo 7 apresentam-se as conclusões finais do trabalho, enquanto os Capítulos 8, 9 e 10 são referentes às sugestões para trabalhos futuros, referências bibliográficas e anexos, respectivamente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 NORMA REGULAMENTADORA

A norma brasileira que regulamenta a resistência dos blocos de concreto é a NBR 6136:2007. Esta norma divide os blocos em duas categorias, os de vedação, que destinam-se ao preenchimento de vãos, e os estruturais, que possuem função estrutural na construção.

Na tabela 1, retirada dessa norma, pode-se ver a classificação dos blocos quanto à resistência à compressão, onde F_{bk} é a resistência característica estimada de uma determinada amostra.

Tabela 1 – Resistência à compressão das classes de blocos.

Classe	Resistência característica F_{bk} (MPa)	Absorção média em %		Retração ⁽¹⁾ %
		Agregado normal	Agregado leve	
A	$\geq 6,0$	$\leq 10,0\%$	$\leq 13,0\%$	$\leq 0,065\%$
B	$\geq 4,0$		(média)	
C	$\geq 3,0$		$\leq 16,0\%$	
D	$\geq 2,0$		(individual)	
(1) Facultativo.				

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;

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

Fonte: NBR 6136:2007

2.2 TIPOS DE MÁQUINAS

Existem no mercado diferentes tipos de máquinas para produção de blocos de concreto. O Brasil, atualmente, conta com um grande número de fabricantes dessas máquinas, tanto de pequeno como de médio porte. Abaixo, são apresentados alguns modelos.

2.2.1 Máquinas manuais

Neste tipo de máquina o enchimento da forma e a prensagem dos blocos são feitos de forma manual. Devido a isso, a força de compactação atingida é muito baixa. Para atender a norma de resistência mínima da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), essa máquina tem que

utilizar um traço (relação de elementos que compõem o concreto) com maior quantidade de cimento. Tal fato encarece a produção.



Figura 1 – Máquina manual.

2.2.2 Máquinas pneumáticas

As máquinas pneumáticas costumam ser semiautomáticas de média produção. A prensagem do bloco é feita por meio de um sistema pneumático. Por possuírem sistema de vibração mais eficiente e uma força de compactação maior, apresentam uma qualidade final dos blocos superior aos produzidas nas máquinas manuais.



Figura 2 – Máquina pneumática.

2.2.3 Máquinas hidráulicas

Essas máquinas são normalmente voltadas para grandes produções e conseguem atingir altas cargas de compactação. Por serem máquinas mais caras, seu sistema de vibração costuma ser mais robusto e eficiente. Muitas vezes vêm acompanhadas de um CLP (Controlador Lógico Programável) que garante sua automação.

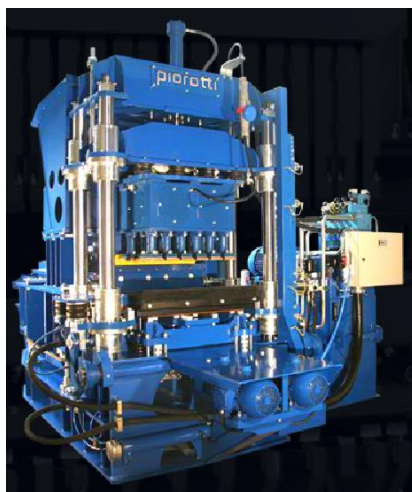


Figura 3 – Máquina hidráulica.

2.3 RELAÇÃO DO TIPO DE MÁQUINA UTILIZADA COM A QUANTIDADE DE CIMENTO NECESSÁRIA

A qualidade dos blocos produzidos depende de alguns fatores, tais como: qualidade dos materiais empregados na mistura; proporção adequada desses materiais; processo de cura; desempenho do equipamento fabricante.

A mistura — traço — é composta basicamente por cimento, areia, agregados, água e aditivos (SOUSA, 2001). Dentre esses componentes o mais oneroso é o cimento. Por isso, é interessante para o fabricante produzir blocos utilizando a menor quantidade de cimento possível para uma dada resistência à compressão, o que pode ser alcançado pela utilização de uma máquina que ofereça um bom desempenho.

O desempenho do equipamento está ligado principalmente ao processo de vibração e de compactação da mistura. As máquinas que conseguem, por meios da vibração, submeterem a forma do bloco a grandes acelerações e que possuem um sistema de compressão capaz de aplicar uma pressão elevada, conseguem fabricar blocos utilizando uma porcentagem menor de cimento na mistura. O próximo capítulo deste trabalho explica porque os parâmetros: vibração e força de compressão afetam na qualidade dos blocos produzidos.

A Figura (4) foi retirada de uma apresentação da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) e exemplifica o que foi dito acima. Esta mostra que a máquina manual, por aplicar uma pressão de compactação pequena e possuir, em geral, um sistema vibratório ineficiente, necessita aproximadamente de 2 kg de cimento para fabricar um bloco. Já uma máquina hidráulica necessita apenas de 1,08 kg para confeccionar um bloco de mesma resistência.

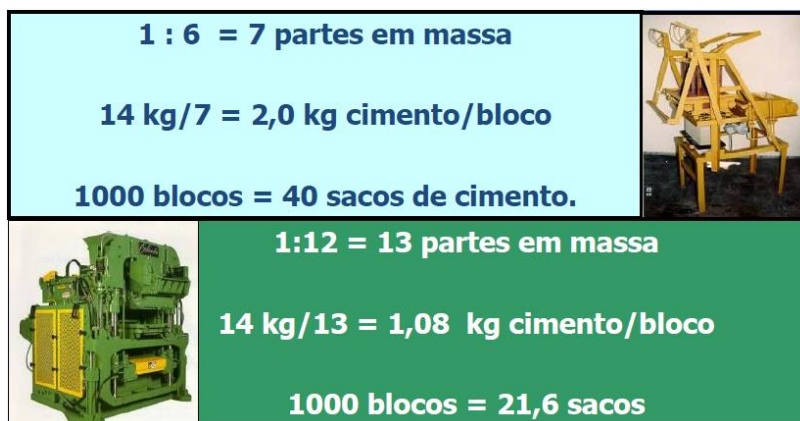


Figura 4 – Comparação do tipo de máquina com a quantidade de cimento utilizada na fabricação do bloco.

2.4 A IMPORTÂNCIA DA VIBRAÇÃO NO ADENSAMENTO DO CONCRETO

Para que se entenda a importância da vibração no processo de adensamento do concreto, é importante analisar as mudanças ocorridas nas características do traço do concreto ao longo dos tempos.

No início do século passado, as misturas de concreto eram geralmente muito secas. O concreto era usado na construção de fundações, paredes de retenção, represas e outras estruturas com seções estruturais largas. Na maioria das vezes, esse concreto não era reforçado, ou seja, não eram utilizadas barras de aço — vergalhões. Muitas dessas construções ainda existem e estão em perfeitas condições, o que comprova que esse tipo de concreto era “forte” e durável (ACI COMMITTEE 309, 1993).

Mais tarde, o concreto armado se popularizou. Novos projetos começaram a ser desenvolvidos e esses projetos, muitas das vezes, possuíam estruturas com seções muito pequenas. A mistura de concreto seca não conseguia preencher adequadamente as formas que possuíam em seu interior estruturas de reforço de aço. Foi assim que se iniciou a adição de água à mistura, para que o concreto, mais fluido, pudesse preencher corretamente essas formas. A adição de mais água ao concreto o tornou mais fluido, isso facilitou seu transporte até as formas (ACI COMMITTEE 309, 1993).

Com o passar do tempo, constatou-se que essa mistura com mais água não estava produzindo um bom concreto. Defeitos começaram a ser constatados nas estruturas que utilizavam esse tipo de concreto, tais como: diminuição da durabilidade, rachaduras e principalmente redução na resistência.

Posteriormente, foi descoberto que vibrando o concreto durante seu processo de densificação aumentava-se significativamente a resistência das estruturas produzidas. Essa descoberta foi objeto de diversos estudos que buscavam explicar o impacto da vibração na qualidade do concreto.

Hoje, sabe-se que a vibração do concreto fresco reduz drasticamente as forças internas de ligação entre as suas partículas. Com essa queda a mistura se “liquefaz” temporariamente. Esse é o principal fator do processo de consolidação o do concreto (PAIOVICI, 2004).

No caso da mistura utilizada para a fabricação de blocos de concreto a porcentagem mássica de água comparada com a de cimento é muito baixa. A mistura é muito seca. Isso faz com que as forças de coesão entre as partículas sejam muito elevadas, sendo o processo vibratório por si só ineficiente para a consolidação, por isso, a mistura é também comprimida (POPOVICS, 1973). O processo vibratório aliado ao processo de compressão da mistura diminui a quantidade de bolhas de ar dentro do bloco. Isso faz com que o bloco tenha uma maior densidade e, por consequência, uma maior resistência.

Por razão da magnitude das forças de coesão é necessário que a vibração produza altas acelerações na forma do bloco. A aceleração ideal depende da composição da mistura, mais, normalmente, são utilizados valores bem altos para que seja diminuído o tempo de vibração, aumentando a produtividade. O efeito provocado por um excesso de aceleração não provoca grandes impactos na qualidade dos blocos (PAIOVICI, 2004).

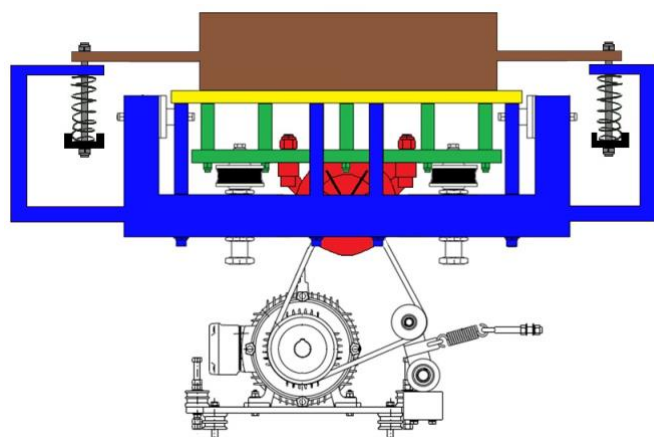
2.5 A INFLUÊNCIA DOS PALLETS NA QUALIDADE DOS BLOCOS PRODUZIDOS

Nas máquinas vibro-compactadoras, os blocos são moldados e compactados sobre os pallets e depois transportados para estantes em cima dos mesmos.



Figura 5 – Pallets de diferentes materiais.

Nessas máquinas os pallets ficam localizados entre a mesa vibratória e a forma, como mostrado na Fig. (6). A forma não possui fundo, portanto o bloco é moldado sobre o pallet. Durante o processo, a forma é preenchida por cima. Quando ela já está cheia, o mecanismo hidráulico comprime a mistura. Durante esse processo, a mesa vibra todo o tempo e essa vibração é transmitida através do pallet para a forma. Como o pallet não é preso à mesa vibratória nem à forma, a vibração é transmitida através de choques.



- Parte marrom – Forma
- Parte verde – Mesa vibratória
- Parte azul – Estrutura da máquina (fixa)
- Parte preta – Coxim
- Parte Vermelha – Vibroturbo (excêntrico)

Figura 6 – Localização do pallet na máquina de blocos de concreto.

Parâmetros como a rigidez e o amortecimento do pallet influenciam a vibração transferida da mesa vibratória para a forma. No caso dos pallets de madeira, os mais amplamente utilizados no Brasil, esses parâmetros variam significativamente durante sua vida útil.

Alguns estudos foram realizados para quantificar a importância da rigidez e do amortecimento dos pallets no processo de densificação dos blocos. Dentre esses vale destacar o estudo do instituto alemão IFF Institut für Fertigteiltechnik und Fertigbau Weimar¹ (SCHWABE, 2010), analisando a rigidez e o amortecimento de pallets feitos de diferentes tipos de madeira e relacionando esses parâmetros ao efeito de adensamento nos blocos.

Outro estudo na área foi realizado pela empresa alemã Rampf Formen GmH que desenvolveu um dispositivo sem fio de monitoramento em tempo real da aceleração na forma dos blocos (MOTHES, 2009). Esse dispositivo possibilitou a análise da vibração com a variação da rigidez e amortecimento dos pallets.

¹ Instituto de tecnologia e pré-fabricados de Weimar – Alemanha.

3. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA ANALISADO

Para alcançar o objetivo proposto para esse trabalho: analisar como a vibração imposta à forma influencia na qualidade dos blocos produzido em máquinas vibro-compactadoras, torna-se necessária a análise do funcionamento desse tipo de máquina. Nesse Capítulo, uma máquina vibro-compactadora é caracterizada.

3.1 MÁQUINA ANALISADA

A máquina analisada é produzida no Brasil pela empresa Tprex, modelo VP-500 H3. Trata-se de uma vibro prensa hidráulica, automática e computadorizada para fabricação de blocos e pisos em concreto. A Figura (7) lista as características técnicas da referida máquina.

DADOS TÉCNICOS

- Estrutura reforçada em tubos retangulares de 150x100mm.
- Guias retificadas e cromadas
- Mancais com buchas e anéis raspadores.
- Reservatório hidráulico com capacidade de 370 litros, usando uma bomba de pistão com vazão de 66 litros/min.
- Motor de acionamento da bomba de 15 CV.
- Bloco "Manifold" com 5 alojamentos de válvulas (capacidade de prensagem de aproximadamente 3800 kg).
- Cilindros interligados através de mangueiras e conexões fixos na máquina.
- Capacidade do reservatório de óleo..... 370 litros.
- Duração do Ciclo de Fabricação:
 - 3 a 4 ciclos/min nos blocos
 - 4 a 5 ciclos/min nos pisos
- Motores Elétricos
 - o Vibradores.....1 X 10cv
 - o Agitador.....1 X 3cv
 - o Unidade Hidráulica.....1 X 15cv
- Consumo Aproximado de Concreto;
 - o Para briquetes de pavimentação.....de 4,2 m³/h
 - o Para blocos de alvenaria.....de 6,0 m³/h
- Pressão Hidráulica de Trabalho.....75 a 90 BAR
- Área Útil de Moldagem.....500 X 800 mm
- Altura de Moldagem.....40 a 210 mm
- Peso Aproximado.....3500 kg

Figura 7 – Características técnicas da máquina Tprex modelo VP-500 H3.



Figura 8 – Máquina Tprex modelo VP-500 H3.

3.2 FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA

A mistura de cimento, areia, pedrisco e água (traço) é lançada no silo de agregados através de uma esteira. Do silo, a mistura vai para a gaveta de alimentação que tem a função de preencher a forma dos blocos. Quando a forma está cheia, uma estrutura chamada castelo (que nada mais é que o “positivo” da forma) desce, empurrada por um atuador hidráulico, comprimindo a mistura. Depois, o castelo é erguido e os blocos são retirados por meio de uma esteira. Para uma melhor compreensão, explicar-se-á, a seguir, cada uma dessas etapas separadamente.

3.2.1 Etapas do processo de fabricação

- Mistura é jogada no silo de agregados

A mistura já pronta é despejada no silo por uma esteira. Logo que o silo é totalmente preenchido, a esteira é desligada. O silo tem uma capacidade suficiente para armazenar a mistura para a produção de vários blocos. Quando o silo está perto de se esvaziar a esteira de alimentação é novamente ligada.



1. Esteira
2. Silo de agregados

Figura 9 – Enchimento do silo de agregados.

- Enchimento da forma

Do silo a mistura é despejada na gaveta de alimentação que tem a função de preencher a forma dos blocos. Com movimentos horizontais, para frente e para trás, a gaveta de alimentação faz esse preenchimento. A mesa começa a vibrar nessa etapa, ajudando no preenchimento uniforme da forma.



1. Castelo (suspenso)
2. Gaveta de alimentação
3. Forma
4. Pallet
5. Grelha da mesa vibratória

Figura 10 – Enchimento da forma dos blocos.

- Compressão da mistura

Quando a forma está cheia, a gaveta de alimentação é recolhida e uma estrutura chamada castelo desce, empurrada por um atuador hidráulico, comprimindo a mistura. Nessa etapa também a mesa está vibrando.



Figura 11 – Compressão da mistura.

- 1- Castelo (abaixado)
- 2- Forma
- 3- Gaveta de alimentação recolhida

- Subida da forma e retirada dos blocos

O castelo comprime a mistura até uma altura fixa (altura dos blocos), determinada por um sensor. Quando o castelo atinge essa altura, o motor que gira o excêntrico da mesa vibratória é desligado, assim, a mesa para de vibrar. A forma e o castelo são suspensos e os blocos, com o pallet, são retirados por meio da esteira. Um novo pallet é empurrado para debaixo da forma e um novo ciclo se inicia.



Figura 12 – Subida da forma e retirada dos blocos.

- 1- Forma (suspensa)
- 2- Blocos de concretos
- 3- Esteira

3.3 MECANISMO VIBRATÓRIO

O mecanismo vibratório da máquina é composto por um motor elétrico que transmite, por meio de correias, movimento para um mecanismo chamado vibroturbo que fica fixado sob a mesa vibratória. A Figura (15) mostra a vista explodida do vibroturbo. Pode-se reparar que este mecanismo consiste, basicamente, de um eixo excêntrico e um invólucro.

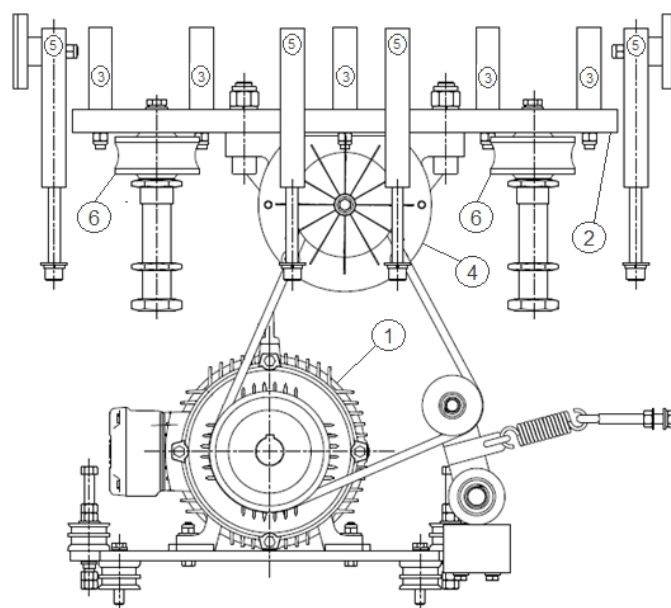


Figura 13 – Desenho esquemático da mesa vibratória.

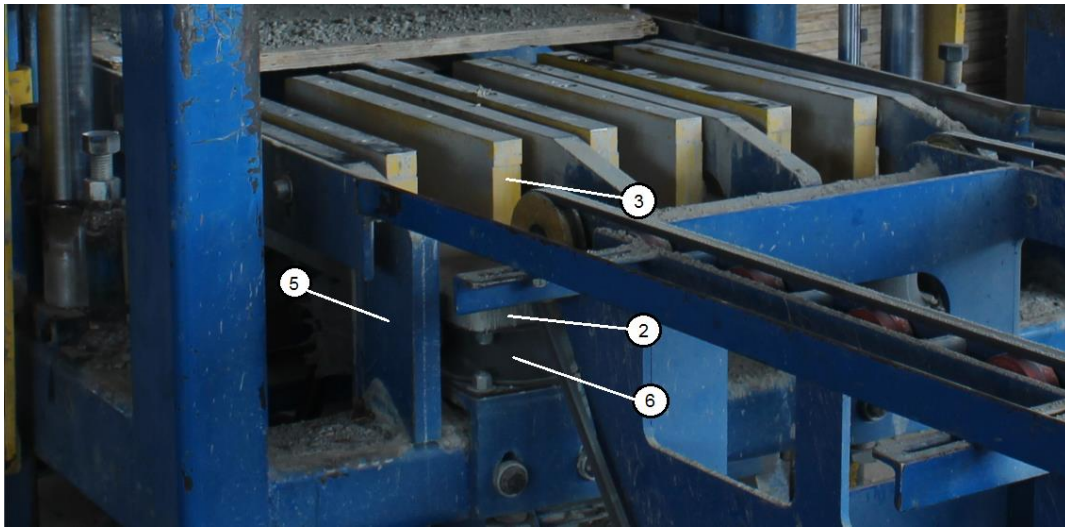
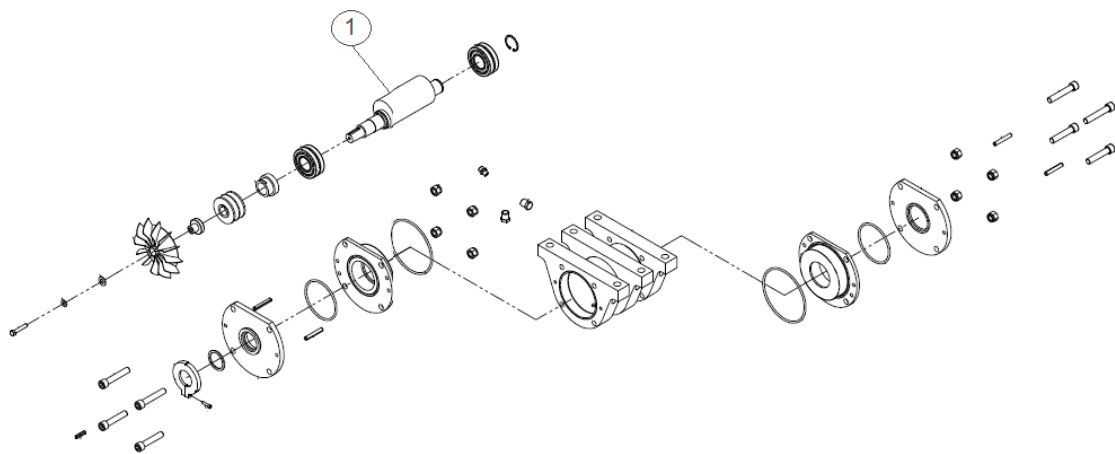


Figura 14 – Componentes da máquina.

- 1- Motor elétrico de 10 cv e 30 Hz.
- 2- Mesa vibratória.
- 3- Grelhas de aço fixadas através de parafusos na mesa vibratória.
- 4- Vibroturbo com frequência de rotação de 63 Hz.
- 5- Barras de aço fixadas através de parafusos na estrutura tubular da máquina (diferentemente das grelhas presas na mesa vibratória essas barras não vibram, são fixas).
- 6- Coxins.



1 - Eixo excêntrico

Figura 15 – Vista explodida do vibroturbo.

O movimento do eixo excêntrico gera uma vibração circular no plano, como exemplificado pela Fig. (16) (ACI COMMITTEE 309, 1993).

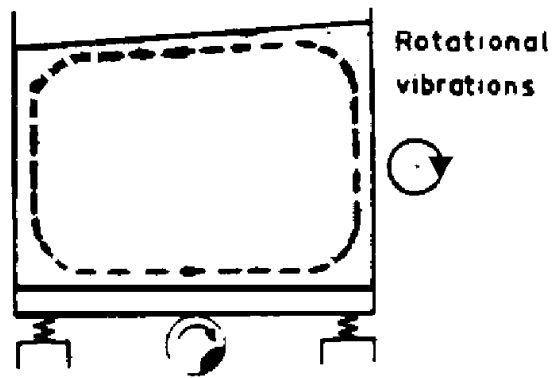
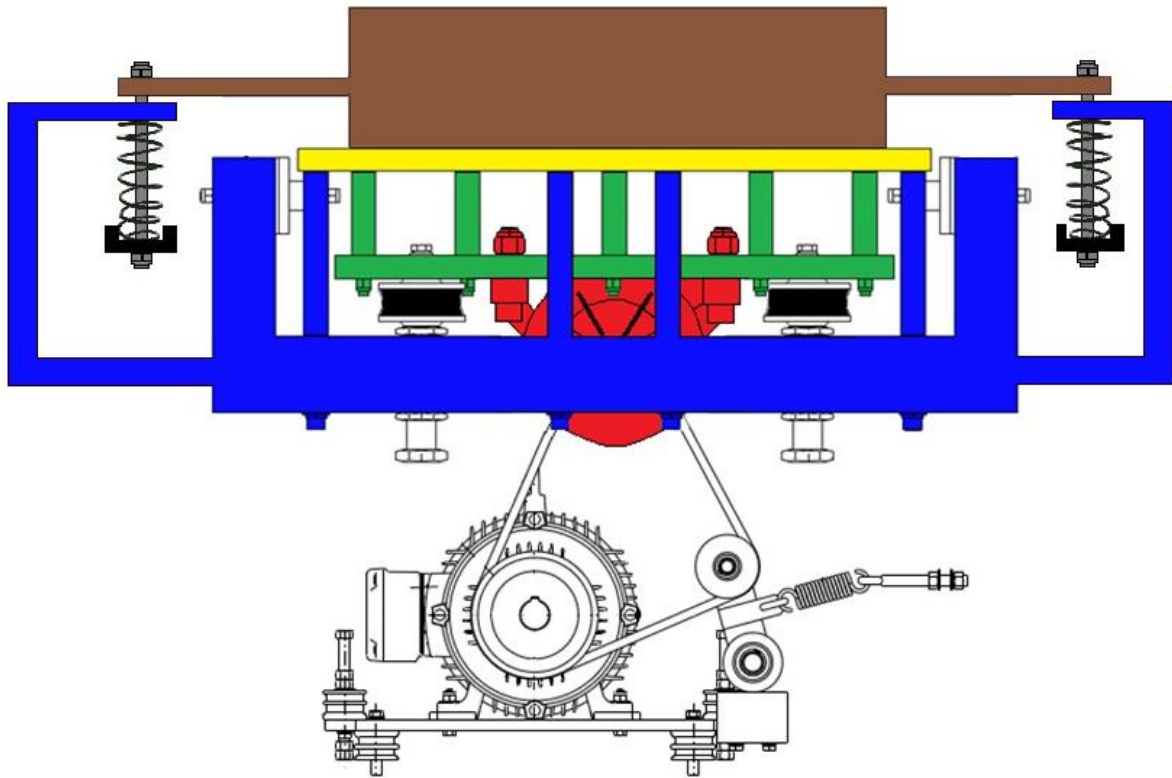


Figura 16 - Movimento vibratório causado pelo giro do eixo excêntrico (Fonte: ACI COMMITTEE 309, 1993 pg 17) .

3.3.1 Transmissão da vibração à forma

A mesa é excitada harmonicamente pela rotação do eixo excêntrico que fica fixado em baixo dela (vibroturbo). Com essa excitação, ela vibra e sua parte superior fica se chocando contra o pallet. Essa vibração é, então, transmitida do pallet para a forma e da forma para o concreto que está em seu interior.



- Parte marrom – Forma
- Parte verde – Mesa vibratória
- Parte azul – Estrutura da máquina (fixa)
- Parte preta – Coxim
- Parte Vermelha – Vibroturbo (excêntrico)

Figura 17 – Desenho esquemático do sistema vibratório da máquina.

Quando o pallet é jogado para cima, devido ao movimento vibratório da mesa, ele impõe um movimento ascendente à forma. O diagrama de corpo livre da forma em movimento ascendente é apresentado na Fig. (18).



- Fm - Força aplicada pelas molas
- Fc - Força aplicada pela transmissão de choques entre o pallet e a mesa
- Fp - Peso da forma
- Fa - Força de atrito entre o concreto e as paredes da forma

Figura 18 – Vista frontal da forma - Diagrama de corpo livre (vibração vertical).

Durante o movimento de descida tanto a mesa quanto o pallet são bruscamente desacelerados pois o pallet, no final de seu movimento descendente, se choca contra as barras fixas representadas pelo número 5 nas Figuras (13 e 14). Assim, em um ciclo de descida e subida, a mesa sofre duas mudanças bruscas de aceleração, devido aos choques, uma durante o início do movimento ascendente e outra no final do descendente.

Acima descreveu-se como ocorre a transmissão de vibração da mesa para a forma no sentido vertical. Como a mesa vibra circularmente no plano, a forma também vibra no eixo horizontal. Essa vibração horizontal é transmitida através do atrito entre a mesa vibratória e o pallet e o atrito entre o pallet e a forma. Na Figura (19) é representado o diagrama de corpo livre com as forças responsáveis por esse movimento na horizontal. Cabe mencionar que a força “F_l”, representada na Fig. (19), e a força “F_m”, representada na Fig. (18), não são iguais. A mola apresenta uma rigidez na direção normal ao seu eixo (F_m) e outra rigidez na direção perpendicularmente ao seu eixo (F_l).

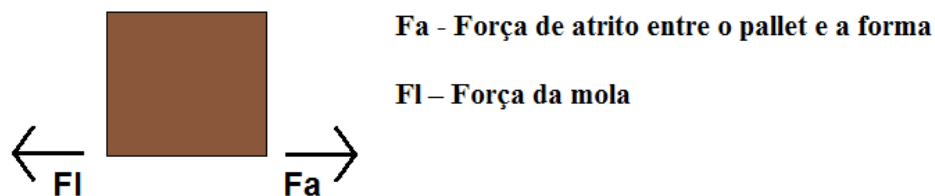


Figura 19 – Vista lateral da forma- Diagrama de corpo livre (vibração horizontal).

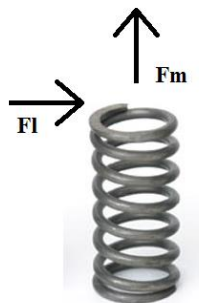
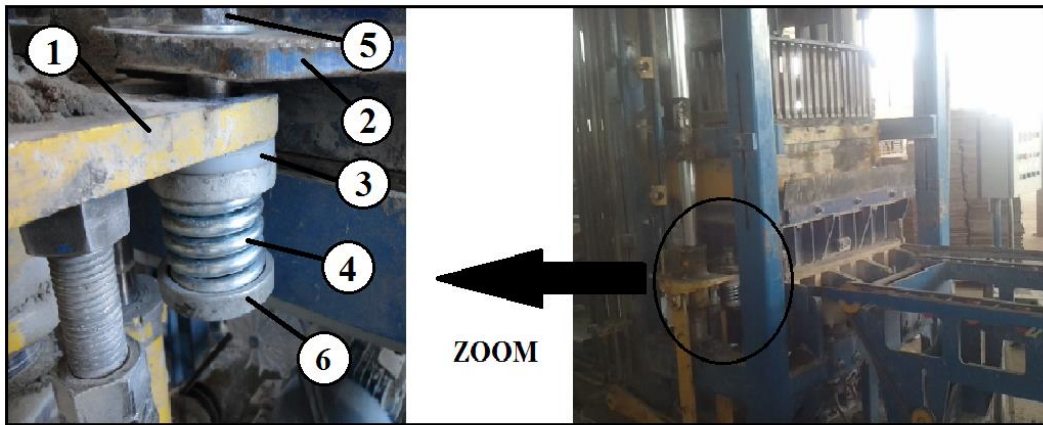


Figura 20 – Forças F_m e F_l aplicadas na mola pela forma.

Para que se compreenda como se dá a vibração da forma no eixo horizontal, é preciso entender como é feita a fixação entre a mola e a forma.



- 1- Mancal Inferior (fixo durante o processo vibratório)
- 2- Forma
- 3- Buxa
- 4- Mola
- 5- Parafuso
- 6- Copo de apoio da mola

Figura 21 – Fixação da forma no mancal inferior.

Um parafuso passa através da forma, do mancal inferior da bucha e da mola, para ser finalmente preso no copo de apoio da mola. Entre o parafuso e a bucha existe uma folga. Devido às forças F_l e F_a representadas na Fig. (19), a forma se movimentava horizontalmente no espaço dessa folga. Os impactos desse parafuso com a bucha geram acelerações que são transmitidas para a forma.

3.4 TEOREMA DO IMPULSO

A mistura utilizada para a fabricação de blocos de concreto é muito seca fazendo com que as forças de coesão entre suas partículas sejam muito grandes. Para quebrar essas forças de coesão é necessário que a forma seja submetida a grandes acelerações.

Como visto anteriormente, tanto no movimento vertical como horizontal, a mudança de aceleração da forma se dá através da aplicação de impactos sucessivos. É por meio desses choques que a forma é submetida a grandes acelerações.

Por meio do teorema do impulso, demonstrar-se-á que impactos provocam acelerações de grandes magnitudes, da ordem de $800 \frac{m}{s^2}$.

Define-se impulso como:

$$I = F \Delta t \tag{1}$$

O teorema do impulso nos diz que o impulso é igual à variação da quantidade de movimento:

$$I = \Delta Q = m \Delta v \tag{2}$$

Combinando a Eq. (1) com a Eq. (2) temos:

$$F = \frac{m\Delta v}{\Delta t} \quad (3)$$

No caso da vibração transmitida por meio de choque o Δt na Eq. (3) é muito pequeno, fazendo com que a força (F) seja bem grande. Pela segunda lei de Newton temos:

$$a = \frac{F}{m} \quad (4)$$

Pela Eq. (4) pode-se notar que quanto maior for a força, F , maior será a aceleração. O que prova que os choques causam uma grande variação na magnitude de aceleração.

3.5 REGULAGEM DA ALTURA DA MESA

Quando se observa a mesa vibratória sem carga, ou seja, com a forma suspensa, nota-se que ela não se encontra nivelada com a estrutura onde o pallet fica apoiado (estruturas identificadas com o número 1 na Fig. 22). Essa diferença de altura entra a mesa e essa estrutura, pode ser regulada por meio do ajuste dos parafusos mostrados na Fig. (23).

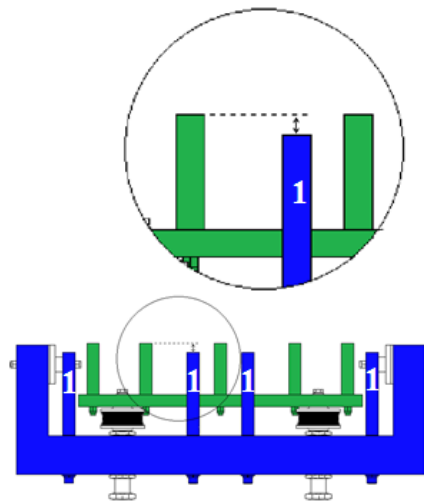


Figura 22 – Diferença de altura entre a mesa e a estrutura que dá apoio aos pallets.

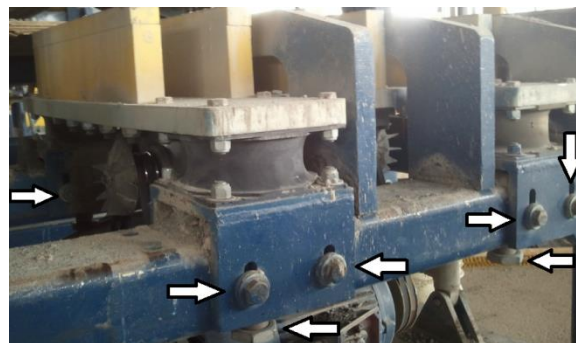


Figura 23 – Parafusos de regulagem da altura da mesa.

Quando o pallet e a forma estão sobre a mesa, o peso da forma faz com que a mesa desça, ficando do mesmo nível da estrutura que suporta o pallet. Isso acontece porque o peso da forma causa uma deformação no coxim. Com essa deformação, o coxim aplica sobre a mesa uma força contrária ao sentido de deformação. Quanto mais alta estiver a mesa maior será a força aplicada pelo coxim. Essa força somada à força de excitação (rotação do excêntrico), são responsáveis pela vibração da mesa. Por causa desse acréscimo às forças de excitação, é verificado um aumento na aceleração da forma quando a mesa é regulada para cima.

3.6 INFLUÊNCIAS DA RIGIDEZ E AMORTECIMENTO DOS COXINS NA ACELERAÇÃO DA FORMA

Pode-se dividir o processo de fabricação do bloco, em relação à vibração, em duas fases consecutivas.

A primeira fase é o enchimento da forma onde a mesa vibra enquanto a gaveta de alimentação despeja o concreto. A vibração durante esse enchimento tem como função uma distribuição mais uniforme da mistura na forma. Um preenchimento desigual pode causar diferença na altura e densidade do bloco, podendo influenciar também em sua resistência.

A segunda fase se dá enquanto o concreto é comprimido pelo castelo. A mesa vibra durante todo o processo de compressão. Essa vibração é muito importante, pois reduz as forças de atração entre as partículas do concreto, possibilitando que ele se comporte como um fluido, facilitando o processo de consolidação.

A Figura (24) refere-se à segunda fase de vibração. A única diferença entre as duas fases de vibração é que na primeira não temos a força F aplicada no concreto no interior da forma, essa força não é aplicada na forma e sim no concreto que se encontra no interior da mesma.

Na Figura (25) vê-se onde as molas e coxins estão realmente posicionados na máquina. Devido ao ângulo da foto, não estão representados o coxim traseiro direito e a mola traseira direita.

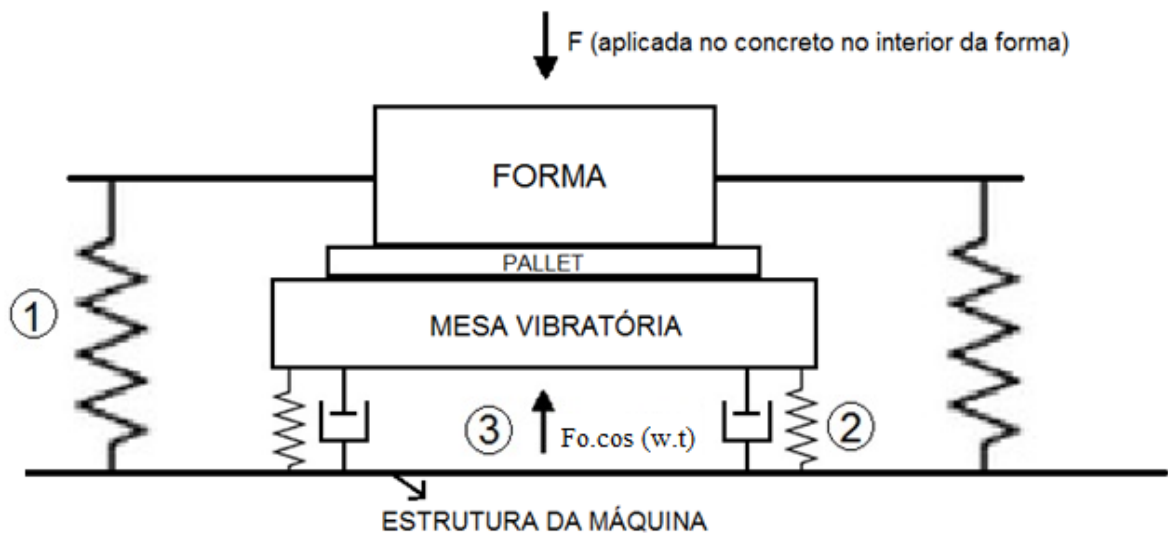


Figura 24 – Desenho esquemático do sistema vibratório da máquina.

- 1- Representam a rigidez das quatro molas que ligam a forma à estrutura. São duas molas de cada lado, ligadas em paralelo. Porém, no esquema só são representadas duas molas.
- 2- Representam a rigidez e o amortecimento dos quatro coxins que fixam a mesa na estrutura. Todavia, no esquema só estão representados dois coxins.
- 3- Força produzida pelo excêntrico preso embaixo da mesa.

$$F_0 = m_e \cdot e \cdot \omega^2 \quad (5)$$



C - Coxim
M - Mola

Figura 25 – Posição dos coxins e molas na máquina.

Prosseguindo com o estudo, far-se-á uma análise de como a variação dos parâmetros rigidez e amortecimento dos coxins, afetam a aceleração da forma. Esta análise será feita no plano vertical, porém os resultados apresentados são também válidos para o plano horizontal.

3.6.1 Análise da rigidez e amortecimento do coxim

Quanto maior for a quantidade de movimento da mesa quando esta se chocar contra o pallet, maior será a aceleração a que a forma será submetida. Como:

$$Q = mV \quad (6)$$

Pode-se dizer que quanto maior a velocidade, maior a quantidade de movimento. Assim, conclui-se que para maximizar a aceleração da forma, a mesa tem que se chocar contra o pallet com a maior velocidade possível. Para que se identifiquem quais variáveis influenciam na velocidade, deduzir-se-á a equação do movimento para a mesa.

Para isso será utilizado o diagrama de corpo livre da Fig. (26). Nessa figura está representada a rigidez e o amortecimento equivalentes do coxim.

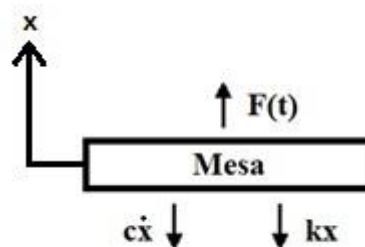


Figura 26 – Diagrama de corpo livre da mesa.

Somando-se as forças e valendo-se da 2ª Lei de Newton, obtém-se:

$$F(t) - c\dot{x} + kx = m\ddot{x} \quad (7)$$

Como $F(t) = F_0 \cos(\omega t)$,

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \cos(\omega t) \quad (8)$$

A solução particular da Eq. (7) é do tipo:

$$x_p(t) = X \cos(\omega t - \varphi) \quad (9)$$

Substituindo a Eq. (9) na Eq. (8) temos:

$$X[(k - m\omega^2) \cos(\omega t - \varphi) - c\omega \sin(\omega t - \varphi)] = F_0 \cos(\omega t) \quad (10)$$

Resolvendo a Eq. (10) para X e φ :

$$X = \frac{F_0}{\sqrt{(k - m\omega^2)^2 + c^2 \omega^2}} \quad (11)$$

$$\varphi = \text{tg}^{-1} \left(\frac{c\omega}{k - m\omega^2} \right) \quad (12)$$

Derivando a equação do movimento em relação ao tempo obtém-se a equação da velocidade:

$$\dot{x}(t) = -X\omega \text{sen}(\omega t - \varphi) \quad (13)$$

Portanto, o módulo da velocidade máxima é diretamente proporcional a X e ω . Analisando a Eq. (11), percebe-se que X aumenta quando c diminui. Derivando-se a equação (11) com respeito a k e igualando a zero, encontra-se o valor de k que maximiza X :

$$k = m\omega^2 \quad (14)$$

3.7 INFLUÊNCIAS DA RIGIDEZ DOS PALLETS NA ACELERAÇÃO DA FORMA

Os pallets têm fundamental importância na transmissão da vibração da mesa vibratória ao concreto. Como se pode observar na Fig. (24) o pallet se encontra entre a mesa vibratória e a forma onde está contido o concreto. A mesa se choca contra o pallet e este transmite a vibração para a forma, que por sua vez transmite a vibração para o concreto.

Para que se compreenda a influência dos parâmetros de rigidez e amortecimento, intrínsecos ao pallet, na transmissão da vibração far-se-á uma análise da resposta de um sistema a excitação por impulso, visto que, os choques da mesa contra o pallet nada mais são do que impulsos sucessivos. A Fig. (27) apresenta a representação esquemática de um sistema massa-mola-amortecedor (m, k, c) sujeito a um impulso F_{\sim} . Como a transmissão da vibração da mesa à forma é dada pelo pallet, no caso do sistema estudado a rigidez e o amortecimento representados na Fig. (27) são dados, principalmente, pelas características do pallet.

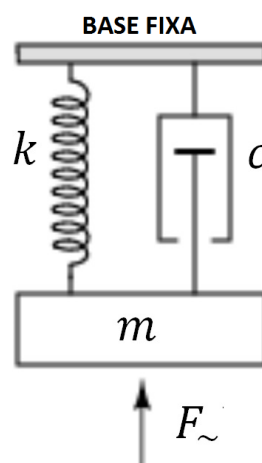


Figura 27 - Esquemático de um impulso sendo aplicado ao pallet.

A equação do movimento de um sistema massa-mola-amortecedor sujeito a um impulso é:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_{\sim} \quad (15)$$

Se a massa estiver em repouso e na posição de equilíbrio no momento de aplicação do impulso, a solução da equação Eq. (15), conforme apresentado por RAO, S. S (2009), é:

$$x(t) = \frac{F_{\sim} e^{-\zeta \omega_n t} \text{sen}(\omega_d t)}{m \omega_d} \quad (19)$$

onde ζ é o fator de amortecimento, ω_n é a frequência natural e ω_d a frequência amortecida.

O valor de t que maximiza a Eq. (19) é:

$$t = \left[\frac{\cos^{-1} \zeta}{\omega_d} \right] \quad (20)$$

Substituindo a Eq. (20) na Eq. (19) pode-se calcular a amplitude máxima de deslocamento, x_{max} :

$$x_{max}(\omega_n, \zeta) = \frac{F_{\sim}}{m \omega_d} e^{-\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cos^{-1} \zeta} \quad [0 < \cos^{-1} \zeta \leq \frac{\pi}{2}] \quad (21)$$

Para dar continuidade aos cálculos utilizar-se-á o conceito de aceleração estática equivalente². A aceleração estática equivalente é uma aceleração constante que, quando aplicada à estrutura provoca uma deflexão igual à máxima deflexão resultante da aplicação de um impulso. A deflexão estática (δ_{est}) do sistema da Fig. (27), sem a aplicação do impulso (F_{\sim}), é:

$$\delta_{est} = \frac{mg}{k} = \frac{g}{\omega_n^2} \quad (22)$$

Analogamente, a máxima distorção causada pela aplicação de um impulso:

$$\delta_{max} = A_{eq} \frac{g}{\omega_n^2} \quad (23)$$

onde A_{eq} é a aceleração estática equivalente em unidades da aceleração gravitacional.

Como no sistema da Fig. (27) a base, onde a mola e o amortecedor estão presos, está fixa, ou seja, não existe movimento relativo entre ela e a massa, pode-se escrever:

$$x_{max} = \delta_{max}$$

Substituindo a Eq. (21) na Eq. (23) tem-se:

$$A_{eq}(\omega_n, \zeta) = \frac{F_{\sim} \omega_n}{mg \sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cos^{-1} \zeta} \quad (24)$$

² PERSOL. A. G. e PAEZ. T.L. Harris' Shock and Vibration Handbook. Editora: McGRAW – HILL, Ed. 2009.

A partir da Eq. (24) nota-se que a aceleração estática equivalente é diretamente proporcional a ω_n e, conseqüentemente, dependente da rigidez. Assim, por meio dos cálculos apresentados, conclui-se que quanto maior a rigidez do pallet maior a aceleração que o sistema alcançará.

3.8 VIBRAÇÃO DA MESA

Para melhor entender o processo vibratório da máquina, algumas medições na mesa vibratória sem carga foram realizadas a fim de mensurar os valores de acelerações e amplitudes de vibração provocadas pela rotação do excêntrico. Para isso, foram utilizados dois acelerômetros da marca PCB Piezotronics. O modelo 352C03 foi utilizado para a medição da aceleração no eixo vertical e o modelo 352C33 para a medição no eixo horizontal. Foi também utilizada uma placa da National Instruments modelo NI 9234 e um computador com o software LabVIEW para a leitura e análise dos dados.

As medições foram iniciadas antes de a máquina ser ligada e finalizadas alguns segundos depois que a mesa havia parado de vibrar. Desta forma, pode-se avaliar o regime transiente do movimento.

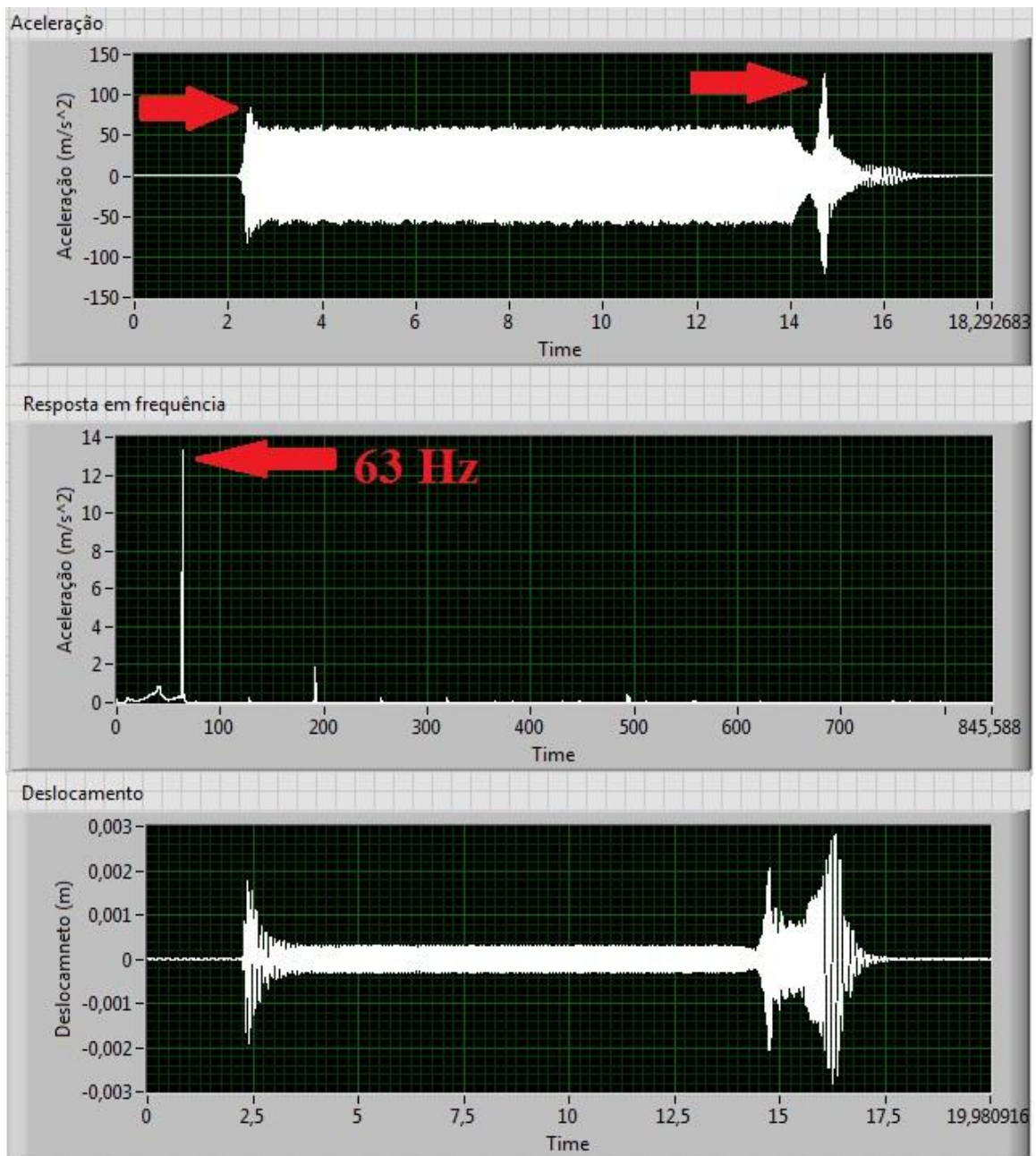


Figura 28 – Gráficos de aceleração, resposta em frequência e deslocamento (eixo horizontal).

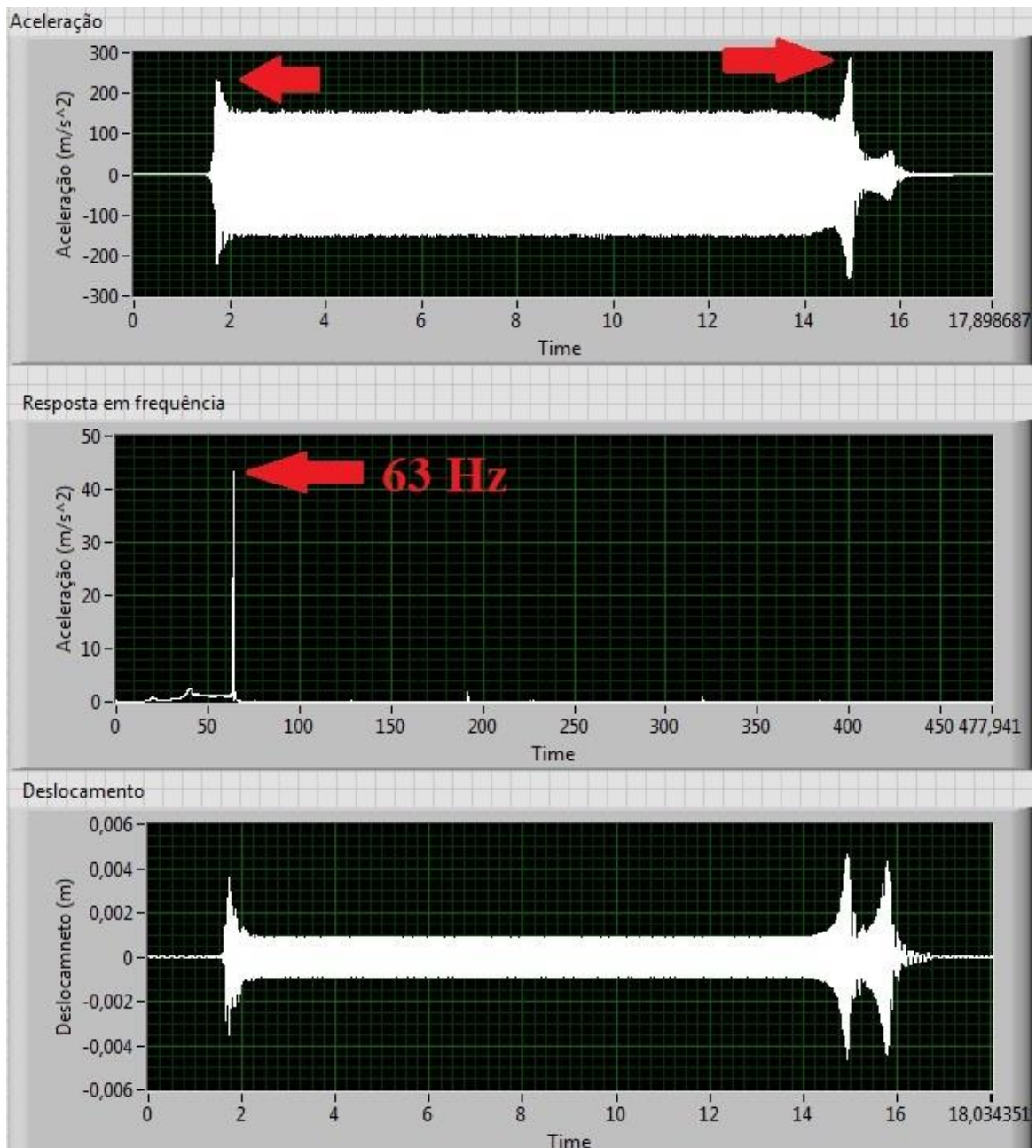


Figura 29 – Gráficos de aceleração, resposta em frequência e deslocamento (eixo vertical).

Interpretando os gráficos das Figuras (44) e (45) chega-se as seguintes conclusões:

- a aceleração em regime permanente é maior no eixo vertical;
- a frequência de excitação é de 63 Hz;
- a amplitude de vibração em regime permanente no eixo vertical é cerca de 1,8 mm (pico a pico);
- durante a aceleração e desaceleração de rotação do excêntrico ocorrem picos de aceleração. Esses picos estão indicados nos gráficos de aceleração por meio de setas vermelhas.

4. ANÁLISE EXPERIMENTAL DOS PALLETS

No item 3.7, expôs-se como a rigidez do pallet influencia a transmissão da vibração da mesa vibratória ao concreto, quando observamos que o módulo da aceleração é diretamente proporcional à frequência natural, a qual depende da rigidez, ou seja, quanto maior a rigidez do pallet maior será a aceleração. Esta aceleração, por sua vez, está diretamente atrelada à resistência do bloco produzido, como será abordado no Capítulo 5. Assim, a rigidez do pallet é um parâmetro de suma importância, pois influencia diretamente na qualidade do bloco fabricado. Por este motivo, desenvolveu-se um aparato experimental com o objetivo de avaliar esse parâmetro, baseado no método do martelo em queda livre (SCHWABE, 2010). Este aparato, assim como a fundamentação teórica que embasa o método, serão devidamente apresentados neste Capítulo.

4.1 MOTIVAÇÃO PARA A CONSTRUÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL

Os *pallets* são submetidos a um grande desgaste, oriundo principalmente das pancadas que recebem da mesa vibratória e da alta umidade do ambiente onde se realiza a cura dos blocos. Esse desgaste promove uma diminuição na rigidez do *pallet*, acarretando uma diminuição da qualidade do produto produzido. A deterioração não se dá de maneira uniforme entre todos os *pallets* de uma fábrica. Dessa forma, ao avaliar a rigidez pode-se conseguir identificar os *pallets* que provocam adensamento insuficiente e esses podem ser retirados do processo produtivo antes que blocos de menor resistência sejam produzidos.

Uma fábrica de grande porte chega a fazer o uso de mais de cinco mil *pallets*. A substituição do estoque completo desses *pallets* é muito onerosa, portanto, é de interesse do empresário utilizar seus *pallets* pelo maior tempo possível. Um método avaliativo da rigidez do *pallet* e, por consequência, de seu desgaste, indicaria ao fabricante o melhor momento de fazer a troca de seu estoque. Nessa perspectiva, as empresas de fabricação de *pallets* também poderiam se beneficiar de tal método, visto que, poderiam utilizar-se da análise de rigidez para fabricarem peças que provocassem maior adensamento nos blocos.

Devido ao desgaste não homogêneo dos *pallets* durante sua vida útil, a resistência dos blocos produzidos não é uniforme. Assim, para compensar o efeito de menor adensamento provocado pelos *pallets* mais gastos, muitas vezes é adicionado uma quantidade maior de cimento ao traço, o que acaba encarecendo o custo da produção. Para minimizar esse problema, um método automatizado de avaliação dos *pallets* quanto a sua rigidez, poderia ser adicionado ao sistema de controle da máquina vibro-compactadora. Esse sistema funcionaria da seguinte forma:

1. a rigidez do pallet seria avaliada na esteira de alimentação (antes da conformação do bloco);

2. os dados de rigidez seriam enviados para o CLP (Controlador Lógico Programável) da máquina vibro-compactadora que ajustaria a frequência de vibração da mesa de acordo com os dados recebidos.

Se o CLP receber dados de uma rigidez baixa (pallet bem desgastado) ele aumenta a frequência de rotação do excêntrico, aumentando, conseqüentemente, a vibração a que o concreto é submetido e, dessa forma, melhorando o adensamento do bloco. Basicamente, a máquina compensaria a baixa rigidez do pallet com o aumento da vibração, o que tornaria a resistência dos blocos produzidos bem mais uniforme.

O processo descrito acima é uma simplificação de uma ideia de aplicação do método avaliativo que, para ser aplicada, exige algumas modificações, tais como: instalação de um variador de velocidade baseado em inversor de frequência para controlar a velocidade de rotação do excêntrico; reprogramação do CLP; entre outras.

As vantagens expostas acima foram a motivação para a construção de um aparato para avaliação da rigidez dos pallets.

4.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO MÉTODO EXPERIMENTAL

O desenvolvimento do aparato experimental foi baseado no aparelho construído pelo instituto alemão IFF Institut für Fertigteilterchnik und Fertigbau Weimar (SCHWABE, 2010). Esse instituto realizou um estudo sobre como o pallet se deforma quando a mesa vibratória se choca contra o mesmo (Fig. (30)). A partir da análise dos dados obtidos nesse estudo, verificou-se que o método de medição de martelo em queda livre consegue simular, adequadamente, esses choques.

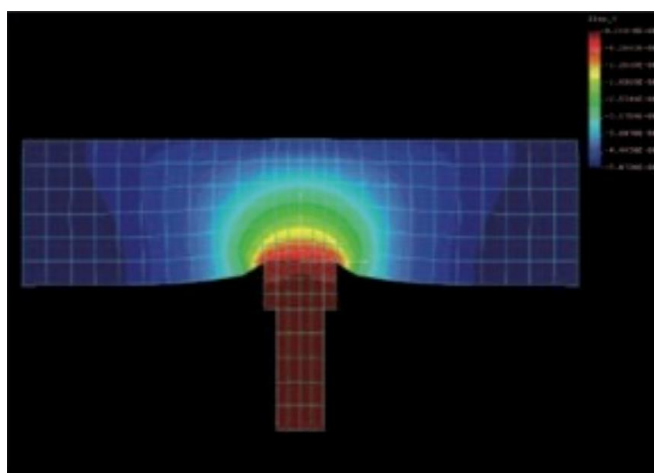


Figura 30 - Cálculos de deformação durante o processo de impacto entre o pallet e as saliências da mesa (Fonte: SCHWABE, 2010 pg 76).

O método de medição de martelo em queda livre consiste em um peso com massa m que cai de uma altura h_0 sobre um pallet devidamente apoiado, para evitar arqueamento. Na extremidade

superior do peso é preso um acelerômetro. Quando o peso se choca, ele ricocheteia devido à rigidez do pallet e suas características de amortecimento. O peso, então, se choca novamente contra o pallet e é novamente ricocheteado. O processo é repetido diversas vezes até que o peso pare completamente. Os valores da massa do peso m e da altura h_0 são calculados de modo que a quantidade de movimento do peso quando se choca pela primeira vez contra o pallet seja igual à quantidade de movimento da mesa vibratória quando esta se choca contra o pallet.

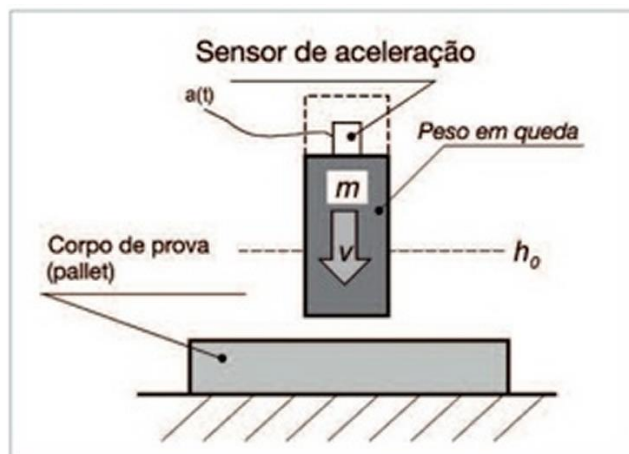


Figura 31 – Diagrama do princípio funcional do martelo de queda livre (Fonte: SCHWABE, 2010 pg 76).

O acelerômetro faz a medição da aceleração a que é submetido o peso. Como a rigidez do peso (chapa de aço) é muito maior do que a rigidez do pallet (madeira) pode-se dizer que a altura do primeiro impulso registrado pelo acelerômetro será determinada, em grande parte, pela rigidez do pallet já o fator de amortecimento é análogo ao decaimento dos picos dos impulsos (SCHWABE, 2010).

É importante frisar que esse método não permite calcular a rigidez e o amortecimento dos pallets mas sim parâmetros adaptados que são proporcionais a essas propriedades (SCHWABE, 2010). O primeiro pico de impulso lido no sinal do acelerômetro é proporcional a rigidez e o decaimento desses picos é proporcional ao fator de amortecimento. Esses valores, apesar de não representarem os verdadeiros valores das propriedades, podem servir como parâmetro de comparação. Com esse método, pretende-se avaliar comparativamente o desgaste entre os pallets.

Na figura Fig. (32) pode-se observar o gráfico da aceleração no tempo de um pallet ensaiado, utilizando o método do martelo em queda livre. Pela análise do gráfico pode-se inferir que o valor do pico “ \hat{a}_1 ” representa o parâmetro adaptado de rigidez (k_a), já o logarítmico da razão “ $\frac{\hat{a}_1}{\hat{a}_2}$ ” representa o parâmetro adaptado do fator de amortecimento (ζ_a), ou seja:

$$k \sim k_a = \hat{a}_1 \quad (25)$$

$$\zeta \sim \zeta_a = \ln\left(\frac{\hat{a}_1}{\hat{a}_2}\right) \quad (26)$$

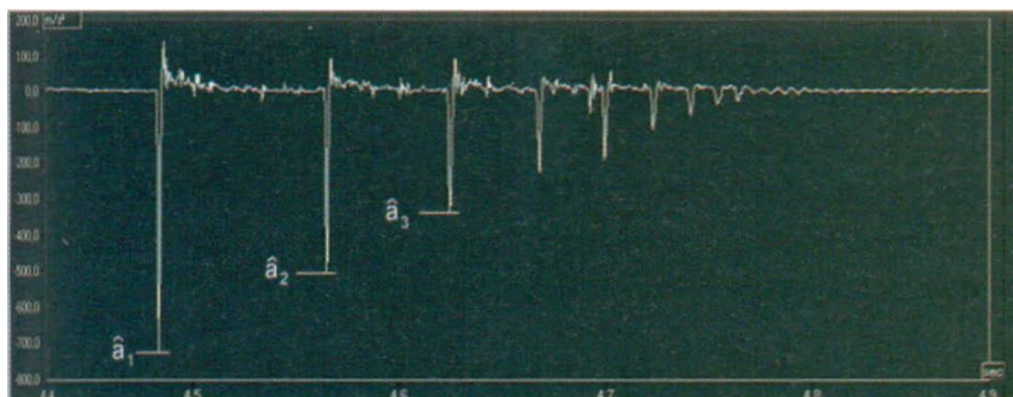


Figura 32 – Gráfico da aceleração no tempo obtido através do ensaio de um pallet (Fonte: SCHWABE, 2010 pg 77).

4.3 DESCRIÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL

O aparato experimental construído (Fig. 33) é composto basicamente por uma barra de aço retificada de uma polegada, um bloco de alumínio com rolamento linear (Fig. 34), uma chapa de aço com uma polegada de espessura, um perfil de aço em U, dois blocos de madeira e dois suportes fixadores de nylon.

Os blocos de madeira foram presos à parede através de parafusos e tem como função, juntamente com os suportes de nylon, fixar a barra de aço. O perfil em U também é preso à parede e sua função é a de garantir que o pallet não “pule” quando atingido pelo peso, ou seja, o pallet fica preso entre o piso e o perfil, como pode ser observado nas Figuras (35) e (36).

O bloco de alumínio, Fig. (34), possui um furo passante, onde foi inserido um mancal linear. A esse bloco é fixada, por meio de dois parafusos, uma chapa de aço. Essa chapa possui em sua parte superior um furo roscado onde é atarraxado um acelerômetro.

A barra de aço serve como guia para que o conjunto composto pelo bloco de alumínio e a chapa de aço caiam contra o pallet. Vale observar que somente a área abaixo da chapa de aço entra em contato com o pallet durante o choque.

Para garantir que o peso caísse sempre da mesma altura, instalou-se, a uma altura calculada, uma haste pivotada presa à parede. A essa haste foi amarrada uma corda que quando puxada liberava o peso, e este se chocava contra o pallet (Fig. 35).

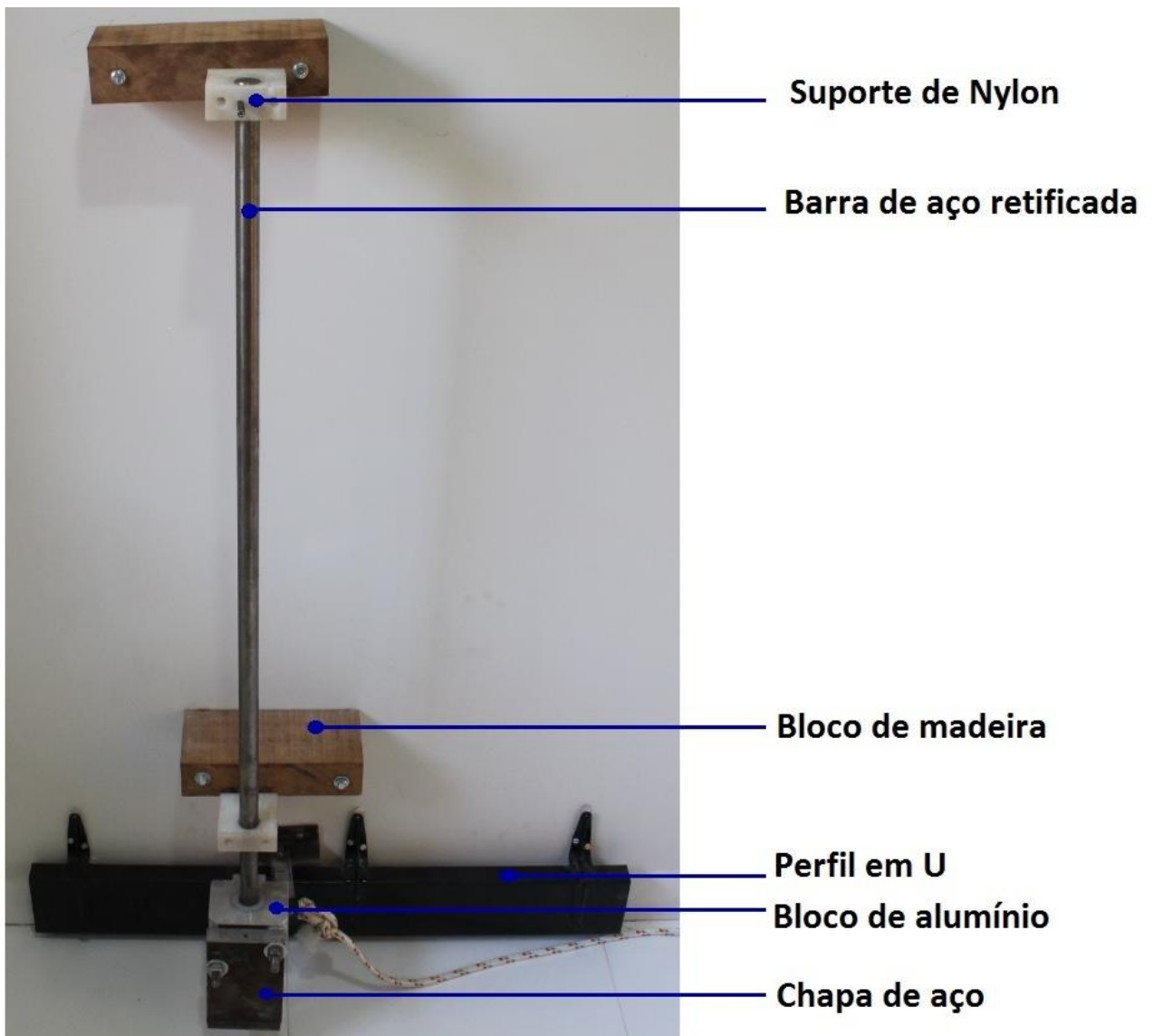


Figura 33 – Componentes do aparato.



Figura 34 – Bloco de alumínio com mancal linear.



Figura 35 - Haste pivotada.

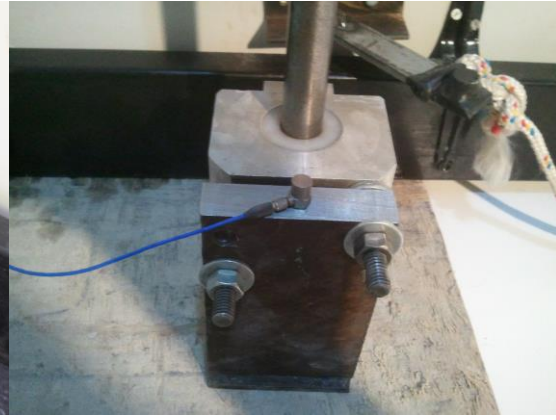


Figura 36- Acelerômetro fixado ao peso.

4.3.1 Cálculo da altura h_0

O valor de h_0 foi calculado de modo que o choque do peso contra o pallet simulasse o impacto provocado pela mesa vibratória da máquina Tprex VP-500 H3. Para isso, a quantidade de movimento por área da mesa vibratória e do peso (quando este se choca contra o pallet) deveria ser igual, ou seja:

$$\frac{Q_m}{A_m} = \frac{Q_p}{A_p} \quad (27)$$

Q_m = Quantidade de movimento da mesa

Q_p = Quantidade de movimento do peso

A_m = Área da grelha da mesa vibratória que se choca contra o pallet

A_p = Área da superfície inferior do peso que se choca contra o pallet

Assim, pode-se escrever:

$$\frac{m_m v_m}{A_m} = \frac{m_a v_a}{A_a} \quad (28)$$

Essa fórmula permite calcular a velocidade (v_a) que o peso precisa ter ao se chocar contra o pallet. Com o valor de v_a calcula-se h_0 através da fórmula:

$$v_a = \sqrt{2gh_0} \quad (29)$$

O valor de v_m utilizado na Eq. (28) foi obtido por meio da avaliação do módulo da máxima aceleração da mesa, vibrando sem carga. Esse dado foi retirado do gráfico da Fig. (29), onde pode-se observar que esse valor é de aproximadamente $147 \frac{m}{s^2}$. A área da grelha (A_m) foi calculada e um valor de $0,1356 m^2$ foi obtido. A massa do conjunto vibratório (m_m) foi estimada em $500 kg$. Os valores de m_a e A_a são $5,896 kg$ e $0,00416 m^2$ respectivamente. Com todos esses dados e utilizando a Eq. (28) e Eq. (29) calculou-se $h_0 = 4,7 cm$.



Figura 37– A região marcada em vermelho representa a área da grelha que entra em contato com o pallet (A_m).

4.4 METODOLOGIA E RESULTADOS

Doze pallets de compensado naval multilaminado foram avaliados. Esses pallets são compostos por diversas lâminas de madeira unidas por um processo de colagem fenólica, ou seja, resistente à água. Para facilitar a identificação dos pallets, eles foram numerados de 1 a 12 de acordo com seu tempo de uso, conforme demonstrado na tabela Tab. (2).

Tabela 2 – Numeração dos pallets quanto ao seu tempo de uso.

Numeração	Tempo aproximado de uso em meses
1 a 4	Novos (sem uso)
5 a 8	2
9 a 12	24



Figura 38– Pallets avaliados numerados.

Cada pallet foi submetido a oito medições em locais diferentes. A Figura (49) mostra em que posições do pallet essas medições foram realizadas.

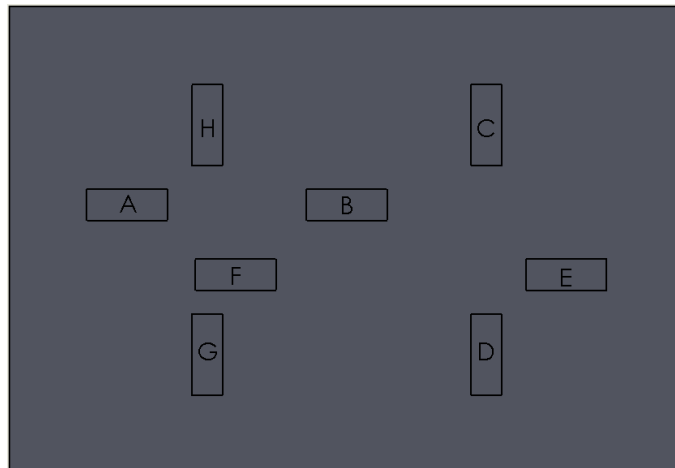


Figura 39 – Regiões do pallet onde foram feitas as medições.

O resultado gráfico de uma dessas medições é apresentado na Fig. (40), na qual os picos de aceleração estão identificados. A Figura (41) representa uma *curve fitting* exponencial com base nos picos de aceleração (P1 a P6) da Fig. (40). Pode-se observar que apesar do erro associado, o decaimento desses picos se comporta de forma exponencial. Esse comportamento pode ser explicado devido ao efeito de amortecimento do pallet.

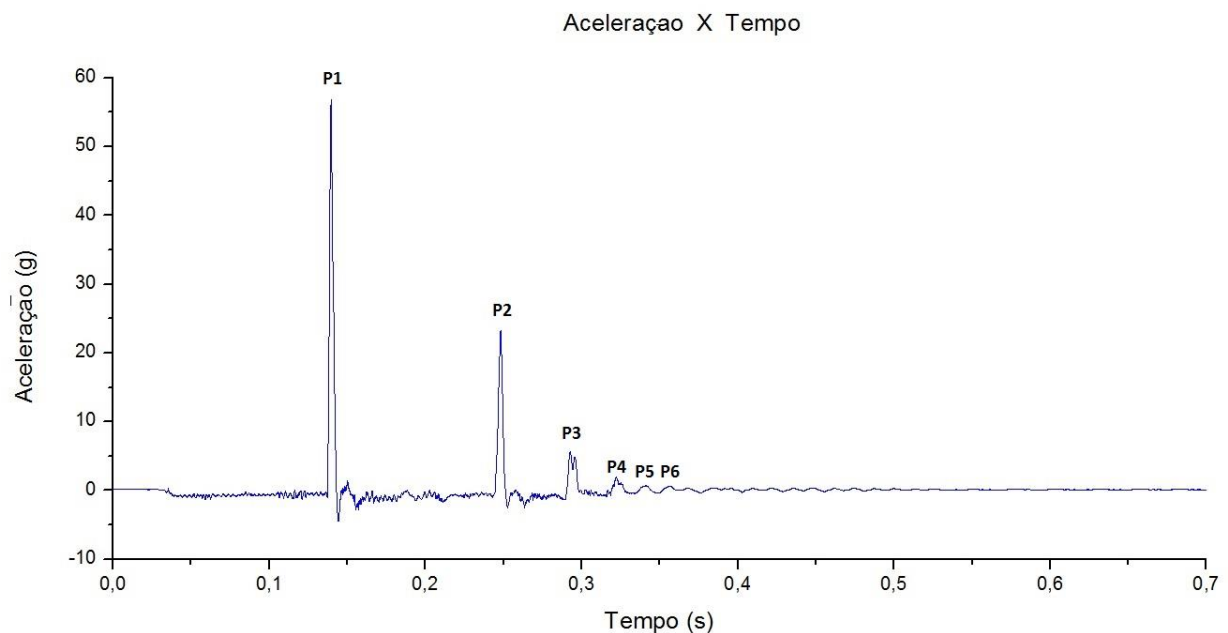


Figura 40 – Gráfico da aceleração no tempo obtido através de uma medição no pallet.

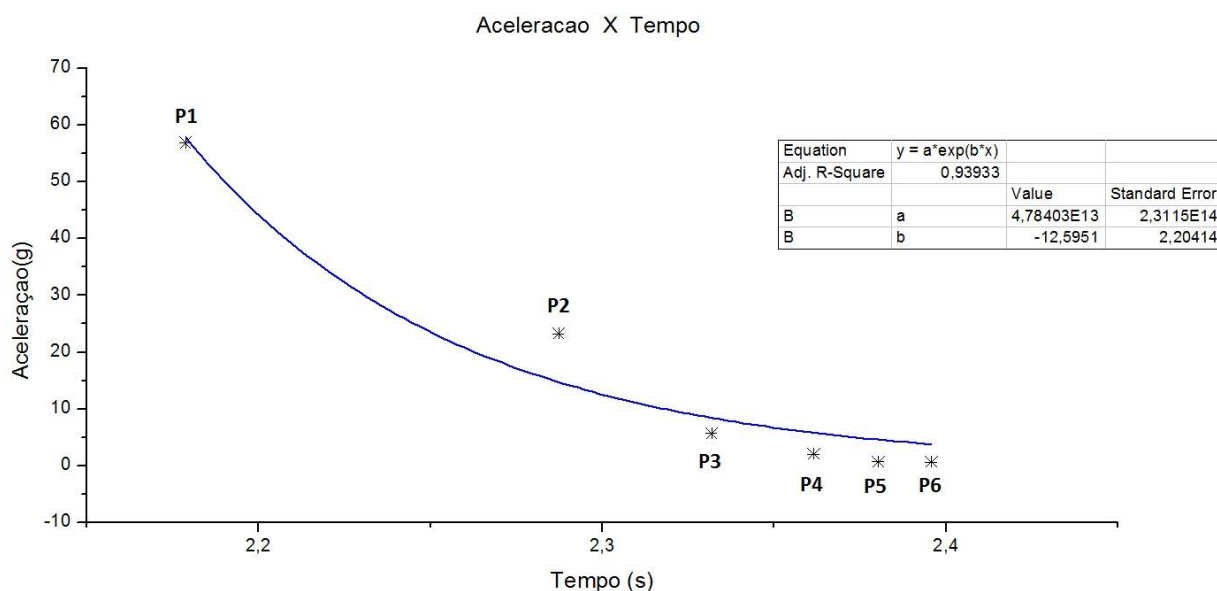


Figura 41– Curve Fit exponencial dos pontos apresentados na Fig. (49).

A Tabela (3) mostra os valores médios do parâmetro adaptado de rigidez k_a para cada pallet e o desvio padrão amostral associado às oito medições.

Tabela 3 – Valores de k_a para cada pallet.

Pallet	Tempo de uso do pallet em meses	k_a Médio (g)	Desvio Padrão Amostral
1	0 (Novo)	84,2	11,8
2	0 (Novo)	89	9,3
3	0 (Novo)	79,5	9,9
4	0 (Novo)	80,4	10,4
5	2	62,4	12,5
6	2	56,8	11,1
7	2	66,1	15,1
8	2	66,5	18,3
9	24	59,7	7,5
10	24	64,8	14,2
11	24	61,2	15,6
12	24	63,5	18,3

Como pode ser observado na Tab. (3) o desvio padrão amostral das medições foi muito elevado, indicando que houve uma grande variação do valor de k_a , conforme a posição da medição. Possivelmente, essa alteração pode ser atribuída ao material dos pallets analisados (compensado naval multilaminado). Esse material não é homogêneo, o que faz com que as propriedades de rigidez e amortecimento variem bastante ao longo do pallet.

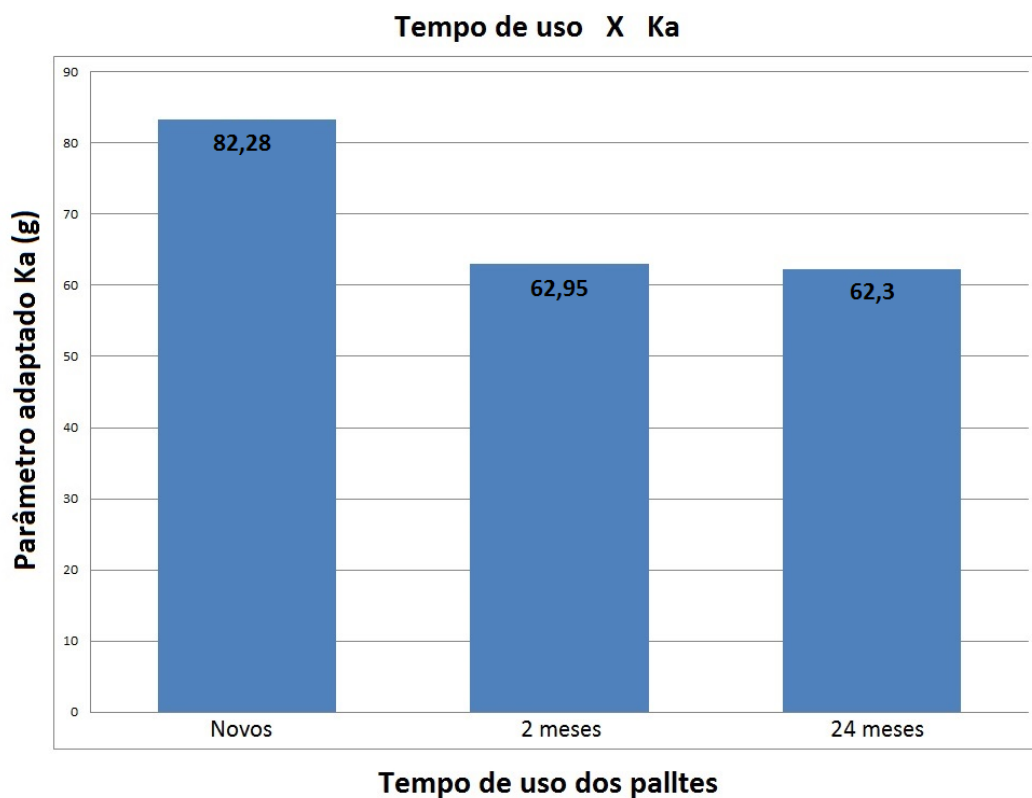


Figura 42 - k_a médio versus tempo de uso dos pallets.

Na Tabela (3) pode-se observar que os pallets novos apresentam valores de k_a superiores aos pallets usados. Isso fica mais evidente quando plotamos a média de k_a em função do tempo de uso dos pallets (Fig. (42)). Nota-se, nesse gráfico que os pallets novos são facilmente diferenciados pelo parâmetro de rigidez. Já os pallets com dois e vinte e quatro meses de uso, não podem ser diferenciados, visto que, os valores obtidos de k_a foram quase iguais.

5. RESISTÊNCIA DOS BLOCOS

No capítulo anterior foi exposta uma metodologia experimental de avaliação de um parâmetro adaptado proporcional à rigidez do pallet. Doze pallets foram ensaiados, aferindo-se a rigidez de cada um. Nesse capítulo, serão apresentados os resultados dos ensaios à compressão dos blocos produzidos utilizando os mesmos doze pallets do capítulo anterior. Far-se-á um paralelo entre as rigidezes obtidas e a resistência dos blocos produzidos. Será também analisada a relação da aceleração medida na forma do bloco com a resistência dos blocos produzidos.

5.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os mesmo doze pallets, que tiveram suas rigidezes aferidas, foram utilizados na produção de 48 blocos de concreto M-15 (140X190X390) classe D. Em seguida, após seis dias corridos de sua fabricação, os blocos foram submetidos a ensaios de compressão. Todos esses blocos foram produzidos sequencialmente, utilizando o mesmo traço de mistura e as mesmas configurações na máquina.

Os blocos foram ensaiados, pela máquina I-3001-C da marca PAVITECNO (Fig.(43)), até o seu rompimento. Por meio do visor digital da máquina de ensaio fez-se a leitura da maior força aplicada ao bloco antes da ruptura. Em seguida, o valor dessa força foi convertido para pressão — em *Mpa*. Para isso, utilizou-se a área bruta do bloco. Sabe-se que a pressão não é aplicada na área bruta do bloco e sim na área líquida, onde é descontada a área dos furos. O cálculo, no entanto, foi realizado segundo a norma ABNT NBR 12118: 2011.



Figura 43- Máquina utilizada para o ensaio de compressão dos blocos.

A Tabela (4) mostra os resultados obtidos, sendo que, em cada pallet, foram produzidos quatro blocos. Assim, as resistências à compressão mostradas na tabela é a média da resistência desses quatro

Tabela 4 – Resistência à compressão dos blocos produzidos nos doze diferentes pallets.

Pallet	Tempo de uso do pallet em meses	Resistência à compressão (MPa)
1	0 (Novo)	4,8
2	0 (Novo)	4,2
3	0 (Novo)	4,6
4	0 (Novo)	4,5
5	2	4,5
6	2	4
7	2	4,2
8	2	4,1
9	24	3,8
10	24	3,6
11	24	3,3
12	24	4

Nota-se na Tab. (4) uma tendência da diminuição da resistência do bloco de acordo com o aumento da vida útil do pallet. Essa tendência fica mais evidente quando se observa o gráfico da Fig. (44). Desse gráfico pode-se inferir que os blocos produzidos em pallets novos possuem uma resistência 6,66 % maior que os produzidos em pallets com dois meses de uso e 17,78 % maior que os fabricados em pallets com 24 meses de vida útil.

Tempo de uso X Resistência

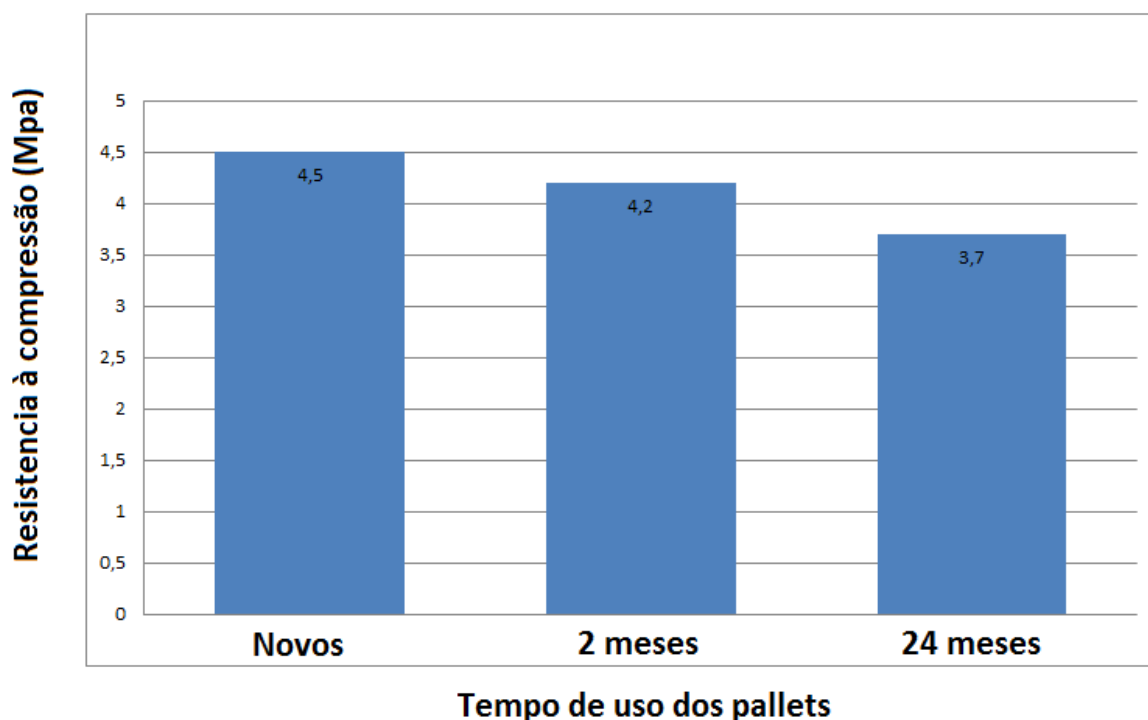


Figura 44– Resistência à compressão versus tempo de uso dos pallets.

5.2 RELAÇÃO DA ACELERAÇÃO AFERIDA NA FORMA COM A RESISTÊNCIA DOS BLOCOS PRODUZIDOS

O acelerômetro piezoelétrico PCB 352C03 foi instalado na forma da máquina para medir sua aceleração, no eixo vertical, durante a produção dos 48 blocos nos 12 pallets avaliados. O resultado gráfico dessa medição é apresentado na Fig. (45). Pode-se notar que há uma variação da aceleração de acordo com o pallet utilizado.

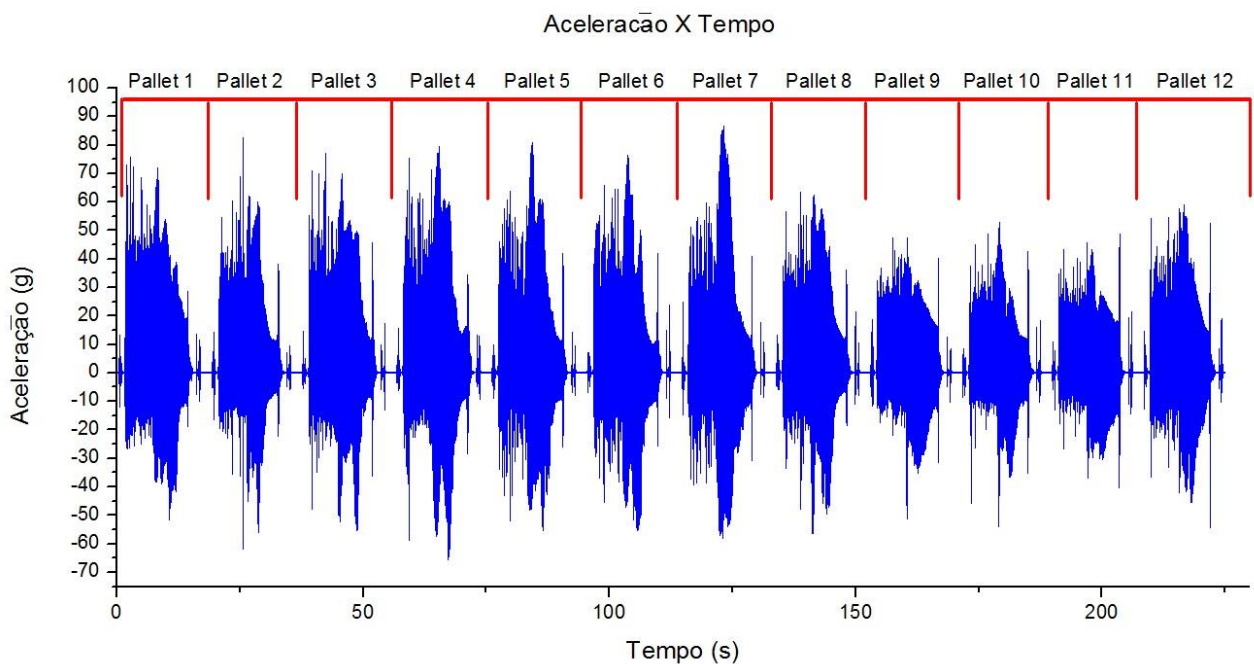


Figura 45– Aceleração aferida na forma.

Para fazer uma análise quantitativa da variação da aceleração na forma, foi calculada, através do programa MatLab, a média dos picos de aceleração do ciclo produzido em cada pallet. Em seguida, os resultados foram plotados em função da resistência dos blocos. A Fig. (46) apresenta o gráfico dos pontos obtidos além de uma *curve fit* linear dos resultados.

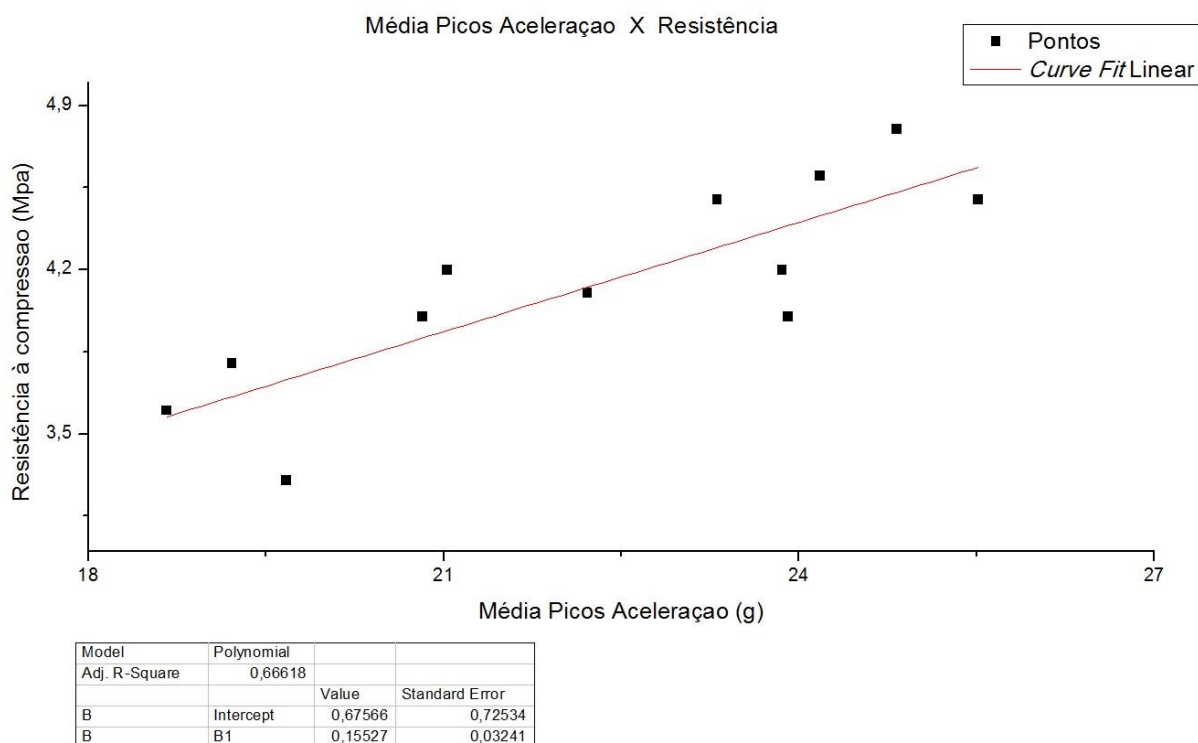


Figura 46– Média dos picos de aceleração por ciclo X Resistência dos blocos produzidos.

Pode-se observar, por meio da Fig. (46), que a resistência do bloco varia, a uma taxa próxima da linear, com o aumento da aceleração na forma, o que evidencia a importância desse parâmetro na qualidade do bloco produzido. Vale ressaltar que esse comportamento “linear” foi observado na faixa de aceleração onde a média dos picos variou de 18,66 a 25,51 g. Não se pode afirmar que para valores inferiores ou superiores haverá o mesmo comportamento.

5.3 RELAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO BLOCO COM O PARÂMETRO DE RIGIDEZ DO PALLET

O gráfico da Fig. (47) relaciona a resistência do bloco produzido com o parâmetro adaptado de rigidez do pallet. Nota-se uma dispersão muito grande dos pontos, por isso, não foi possível achar uma curva característica que representasse o comportamento dos mesmos.

Como mostrado na seção 5.3 o parâmetro de rigidez dos pallets variou muito de acordo com a posição de aferimento. Dessa forma, para um aferimento mais preciso seria necessário realizar muitas medições em um mesmo pallet para, através da média dos valores obtidos, chegar a um valor mais representativo da rigidez do pallet como um todo.

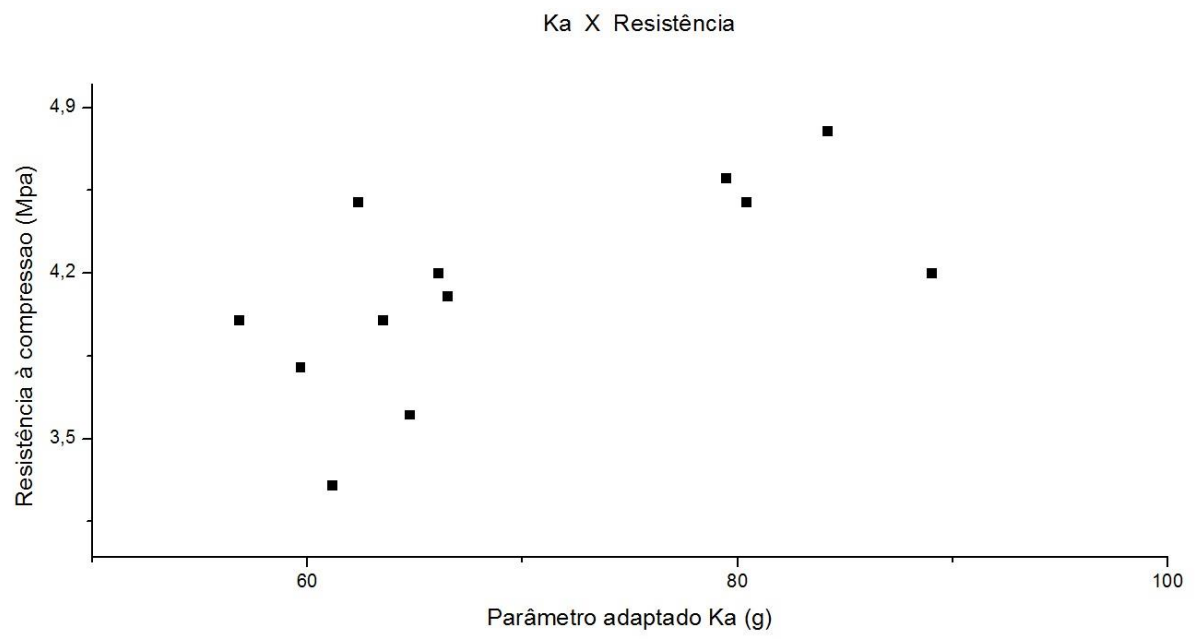


Figura 47 – k_a versus Resistência à compressão

6. ACELERÔMETRO WIRELESS

Neste capítulo são descritas as etapas de desenvolvimento de um dispositivo de medição de aceleração com transmissão de dados sem fio. Esse instrumento foi desenvolvido na empresa PREMOTECNO de Brasília, com o intuito de monitorar a aceleração que o concreto é submetido durante o processo de fabricação de blocos de concreto. Os componentes desse dispositivo são detalhados nesse Capítulo, assim como os testes de aferimento realizados.

6.1 MOTIVAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO

A vibração desempenha uma função *sine qua non* na densificação dos blocos de concreto e, conseqüentemente, na sua resistência. Como mostrado no item 6.3, essa resistência está atrelada à aceleração a que o concreto é submetido durante o processo de produção do bloco. Um instrumento capaz de mensurar essa aceleração propiciaria um acompanhamento em tempo real de um dos parâmetros mais influentes na qualidade do bloco.

As máquinas vibro-compactadoras de blocos de concreto geram uma alta vibração, submetendo seus componentes e sua estrutura a forças dinâmicas de altas magnitudes, assim, esse tipo de máquina demanda manutenções frequentes. Nas manutenções são realizados ajustes, trocas de componentes e reparos, que implicam em mudanças nas características vibratórias da máquina. O monitoramento da vibração permite o acompanhamento dessas mudanças e sua análise orienta a escolha de componentes e ajustes adequados que potencializem o adensamento do bloco.

Outra vantagem do monitoramento é a possibilidade de armazenar dados de ciclos de produção em alto desempenho que podem ser consultados como exemplo comparativo caso houver uma queda visível na qualidade do bloco que é inexplicável, à primeira vista, pelo operador ou departamento de controle de qualidade.

O desgaste dos pallets também pode ser analisado pela monitoração da vibração. Com um sensor preso à forma é possível medir a aceleração da mesma e, garantindo que outros parâmetros permaneçam constantes a diminuição dessa aceleração, por ciclo, pode ser atribuída ao desgaste do pallet utilizado.

Existem diversos tipos de sensores que podem ser usados para a medição de vibração, os mais comuns são os acelerômetros. Quanto à transmissão de dados os acelerômetros podem ser divididos em dois grupos, os sem fio (wireless) e os com fio.

A empresa alemã Rampf Formen GmH fez um estudo abordando a utilização de acelerômetros com fio na monitoração de máquinas vibro-compactadoras de blocos de concreto(MOTHES,2009). No estudo concluiu-se que, devido aos danos causados ao cabo e por causa das dificuldades de instalação,

o sistema com fio era praticamente inviável. Portanto, apesar do menor preço desses acelerômetros perante os *wireless* eles não são indicados para medições nesse tipo de máquina.

Pelas razões acima descritas, foi desenvolvido um acelerômetro com transmissão de dados sem fio, de baixo custo, para a monitoração da vibração em máquinas vibro-compactadoras de blocos de concreto.

6.2 PRINCIPAIS COMPONENTES

6.2.1 Sensor de aceleração

O primeiro componente selecionado para o projeto foi o sensor de aceleração. Optou-se por um sensor do tipo MEMS (*Micro Electro Mechanical Systems*), devido ao seu baixo custo e sua alta faixa de medição. Considerando o exposto, escolheu-se o modelo ADXL 377 fabricado pela ANALOG DEVICES.

O ADXL 377 é um pequeno sensor de aceleração de três eixos, com uma faixa de medição de $\pm 200g$. O sensor é composto de uma estrutura de polisilício de superfície micro usinada, construída no topo do *wafer* de silício. Molas de polisilício suspendem a estrutura sobre a superfície do *wafer* e proveem resistência contra as forças de aceleração. O deslocamento da estrutura é medido, utilizando um capacitor diferencial construído por placas fixas independentes e por placas ligadas a uma massa. A aceleração causa um movimento das placas móveis entre as placas fixas provocando um desbalanceamento dos capacitores diferenciais, resultando em uma onda senoidal de amplitude proporcional à aceleração. Um demodulador interno ao chip determina as magnitudes e direções das acelerações, em seguida, os sinais são amplificados e enviados as saídas do chip.

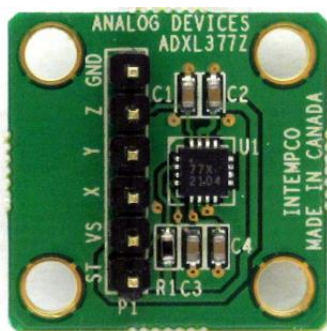


Figura 48– Acelerômetro ADXL 377.

Algumas características do acelerômetro selecionado podem ser observadas na Tab. (5), retirada do *datasheet* do aparelho. Vale ressaltar algumas dessas características, tais como: a largura de banda para o eixo X e Y de 1300 Hz e de 1000 Hz para o eixo Z além da faixa de medição de $\pm 200g$.

Apesar de esse sensor poder fazer a medição de aceleração em três diferentes eixos (X, Y e Z), utilizou-se apenas os dados de dois eixos, visto que, a vibração da máquina vibro-compactadora de

blocos de concreto utilizada como base para esse estudo (TPREX VP-500 H3) é produzida pela rotação de um excêntrico que faz com que a forma vibre apenas em dois eixos.

Tabela 5 – Características do acelerômetro.

$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = 3\text{ V}$, $C_X = C_Y = C_Z = 0.1\ \mu\text{F}$, acceleration = 0 g, unless otherwise noted. All minimum and maximum specifications are guaranteed. Typical specifications are not guaranteed.

Parameter	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
SENSOR INPUT					
Measurement Range	Each axis		± 200		g
Nonlinearity	% of full scale up to 180 g		± 0.5		%
Cross-Axis Sensitivity ¹			± 1.4		%
SENSITIVITY, RATIOMETRIC²					
Sensitivity at X_{out} , Y_{out} , and Z_{out}	$V_S = 3\text{ V}$	5.8	6.5	7.2	mV/g
Sensitivity Change Due to Temperature ³	$V_S = 3\text{ V}$		± 0.02		%/ $^\circ\text{C}$
ZERO g BIAS LEVEL, RATIOMETRIC					
Zero g Voltage	$V_S = 3\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	1.4	1.5	1.6	V
Zero g Offset vs. Temperature			± 12		mg/ $^\circ\text{C}$
X-Axis and Y-Axis			± 30		mg/ $^\circ\text{C}$
Z-Axis					
NOISE PERFORMANCE					
Noise Density					
X_{out} and Y_{out}			2.7		mg/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Z_{out}			4.3		mg/ $\sqrt{\text{Hz}}$
FREQUENCY RESPONSE⁴					
Bandwidth ⁵	No external filter				
X_{out} and Y_{out}			1300		Hz
Z_{out}			1000		Hz
R_{INT} Tolerance			$32 \pm 15\%$		k Ω
Sensor Resonant Frequency			16.5		kHz
SELF-TEST⁶					
Logic Input Low			0.6		V
Logic Input High			2.4		V
ST Actuation Current			60		μA
Output Change	Self-test, 0 to 1				
At X_{out}			-6.5		mV
At Y_{out}			6.5		mV
At Z_{out}			11.5		mV
OUTPUT AMPLIFIER					
Output Swing Low	No load		0.1		V
Output Swing High			2.8		V
POWER SUPPLY					
Operating Voltage Range ⁷		1.8	3.0	3.6	V
Supply Current	$V_S = 3\text{ V}$		300		μA
Turn-On Time ⁸	No external filter		1		ms
OPERATING TEMPERATURE RANGE		-40		+85	$^\circ\text{C}$

¹ Defined as coupling between any two axes.

² Sensitivity is essentially ratiometric to V_S .

³ Defined as the output change from ambient temperature to maximum temperature or from ambient temperature to minimum temperature.

⁴ Actual frequency response controlled by user-supplied external filter capacitors (C_X , C_Y , and C_Z).

⁵ Bandwidth with external capacitors = $1/(2\pi \times 32\text{ k}\Omega \times C_i)$.

⁶ Self-test response changes cubically with V_S .

⁷ Tested at 3.0 V and guaranteed by design only (not tested) to work over the full voltage range from 1.8 V to 3.6 V.

⁸ Turn-on time is dependent on C_X , C_Y , and C_Z and is approximately $160 \times (C_X \text{ or } C_Y \text{ or } C_Z) + 1$, where C_X , C_Y , and C_Z are in μF and the resulting turn-on time is in ms.

6.2.2 Microprocessador

Para fazer o processamento dos dados enviados pelo acelerômetro e a conversão do sinal analógico para digital foi utilizado o microprocessador Atmel ATmega328.

O Atmel ATmega328 é um micro controlador de 8 bits, com arquitetura Harvard modificada. Possui 32KB de memória flash com *read-while-write*, 1KB EEPROM, 2KB SRAM, 23 linhas I/O de uso geral, 32 registradores, três contadores de tempo flexíveis de modos comparativos, serial USART programável, porta serial SPI, seis canais de conversão A/D com 10bits de resolução entre outras funções.

Nesse projeto o microprocessador basicamente tem como função receber os dados do sensor de aceleração na forma analógica (mV) e convertê-los para o formato digital.

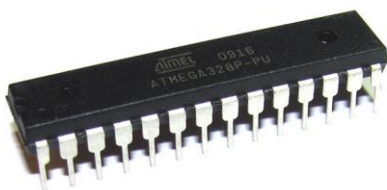


Figura 49– Microprocessador Atmel ATmega328.

6.2.3 Transmissão de dados

Para fazer a transmissão sem fio de dados do microprocessador até o computador foi selecionado um módulo de rádio frequência. Optou-se pelo módulo Xbee-pro, fabricado pela empresa DIGI.

O Xbee-pro é um módulo de rádio frequência que utiliza o protocolo de rede IEEE 802.15.4 para comunicação *point-to-multipoint* ou *peer-to-peer*. Ele opera na frequência de banda ISM 2.4GHz. É um módulo de baixo custo e baixa potência, sendo projetado para aplicações de alto rendimento que requerem baixa latência e tempo de comunicação previsível.



Figura 50– Xbee-pro.

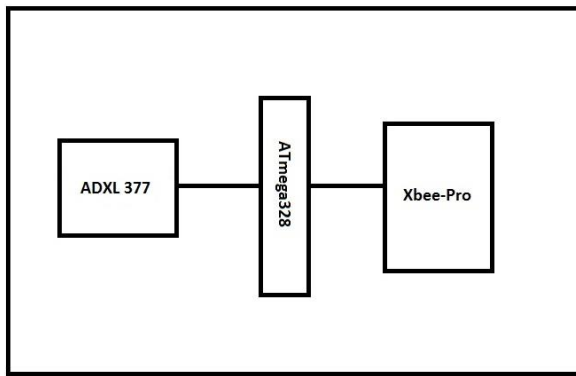
A tabela 6 apresenta algumas características do Xbee-pro. Como pode ser observado, esse módulo possui um alcance de 30 m no interior de edificações e 90m a céu aberto.

Tabela 6 – Características do módulo Xbee-pro.

Specification	XBee	XBee-PRO
Performance		
Indoor/Urban Range	Up to 100 ft (30 m)	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) International variant
Outdoor RF line-of-sight Range	Up to 300 ft (90 m)	Up to 1 mile (1600 m), up to 2500 ft (750 m) international variant
Transmit Power Output (software selectable)	1mW (0 dBm)	63mW (18dBm)* 10mW (10 dBm) for International variant
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)	-100 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements		
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	45mA (@ 3.3 V)	250mA (@3.3 V) (150mA for international variant) RPSMA module only: 340mA (@3.3 V) (180mA for international variant)
Idle / Receive Current (typical)	50mA (@ 3.3 V)	55mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 μ A	< 10 μ A
General		
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip Antenna, Embedded PCB Antenna, U.FL Connector, RPSMA connector	Integrated Whip Antenna, Embedded PCB Antenna, U.FL Connector, RPSMA connector
Networking & Security		
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint & Peer-to-peer	
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels	12 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID, Channel and Addresses	PAN ID, Channel and Addresses

6.3 FUNCIONAMENTO BÁSICO DO SISTEMA

O sensor de aceleração ADXL 377 faz a medição da aceleração e envia esses dados analógicos (mV) para o microprocessador ATmega328. O processador utiliza um conversor analógico digital interno para converter esse sinal para o formato digital. Em seguida, o sinal digital é enviado para o Xbee. O módulo Xbee transmite esse sinal por meio de ondas de rádio frequência para outro Xbee conectado a um computador. O programa LabVIEW instalado nesse computador é, então, utilizado para apresentar em forma gráfica a aceleração em tempo real. Também é possível fazer a gravação dos dados para posterior análise.



Acelerômetro wireless

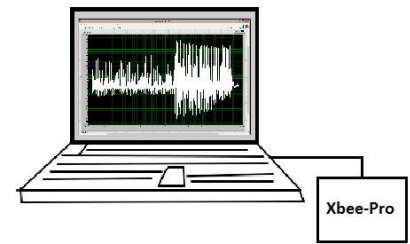


Figura 51– Esquemático da estrutura do acelerômetro.

6.4 PROTÓTIPO

Utilizando os componentes descritos anteriormente, foi construído um protótipo do acelerômetro com transmissão de dados *wireless*. Esses componentes foram soldados em uma placa de circuito universal do tipo ilha e em seguida inseridos em uma caixa de alumínio com dimensões de 11,1 X 6 X 3,1 cm. Para alimentar o circuito foi utilizada uma fonte de 5 V e 0,7 A.



Figura 52 – Disposição dos componentes no interior da caixa de alumínio.



Figura 53– Protótipo do acelerômetro com a fonte de alimentação.

6.5 RESOLUÇÃO E TAXA DE AMOSTRAGEM

6.5.1 Resolução

A resolução do acelerômetro é definida pela resolução do conversor analógico digital (ADC) interno ao microprocessador. Como o processador utilizado possui um ADC de 10-bits, sua saída de dados pode assumir valores binários de 0 (0000000000) a 1023 (1111111111). O cálculo da resolução pode ser realizado com a utilização da seguinte fórmula:

$$R = \frac{V_{ref}}{\frac{1023}{S_{ac}}} \quad (30)$$

onde R é a resolução do acelerômetro, V_{ref} a voltagem de referência e S_{ac} a sensibilidade do sensor de aceleração. No caso específico do acelerômetro desenvolvido foi utilizada uma V_{ref} de 3000 mV e como pode ser observado na Tab. (5) a sensibilidade típica do sensor de aceleração ADXL 377 é de 6,5 $\frac{mV}{g}$. Assim, realizando os cálculos obtém-se uma resolução de 0,45 g.

6.5.2 Taxa de amostragem

A taxa de amostragem é definida pelo módulo de transmissão sem fio, o Xbee. Esse módulo possui um *data rate* máximo de 250000 bps (Tab. (6)), o que permitiu, uma taxa de transmissão de aproximadamente 166,3 Hz.

O teorema da amostragem de Shannon mostra que, para um sinal ser reconstruído perfeitamente, faz-se necessário que a frequência de amostragem, ω_a , seja no mínimo duas vezes superior á maior frequência do sinal analisado, ω_s , ou seja:

$$\omega_s > 2\omega_a \quad (31)$$

Quando a frequência de amostragem é inferior a duas vezes o valor da máxima frequência do sinal o fenômeno de *aliasing* é observado.

O efeito de *aliasing* causa o aparecimento de falsas frequências nos dados de amostragem de um sinal. A Figura (57) exemplifica esse efeito. É possível notar que o sinal amostrado incorretamente possui uma frequência inferior a do sinal original.

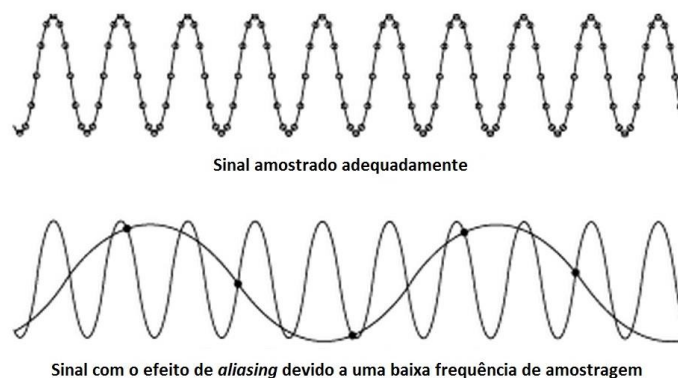


Figura 54 - Efeito de *aliasing*.

6.6 TESTES DE AFERIÇÃO

Realizaram-se alguns testes para aferição utilizando o *Shaker* Labworks ET-127. Estes testes tiveram como objetivo comparar os resultados das medições do acelerômetro *wireless* com as medições do acelerômetro de precisão PCB 352C03. Como o *shaker* vibra no eixo (vertical) as medições realizadas, pelo acelerômetro *wireless*, foram feitas utilizando o eixo Z do sensor ADXL377.



Figura 55 – Acelerômetros instalados no *Shaker*.

O *shaker* foi programado para cinco diferentes frequências, 20, 40, 60, 75 e 90 Hz. As frequências de 20 a 75 estão abaixo da metade da frequência de amostragem do acelerômetro *wireless*. De acordo

com o teorema de Shannon, o sinal deve ser corretamente amostrado. Já a frequência de 90 Hz está acima, assim, o efeito de *aliasing* deverá ser notado.

Os espectros em frequência do sinal do acelerômetro wireless e do PCB 352C03 foram calculados através do software LabView. As Figuras (62) à (71) mostram os resultados obtidos.

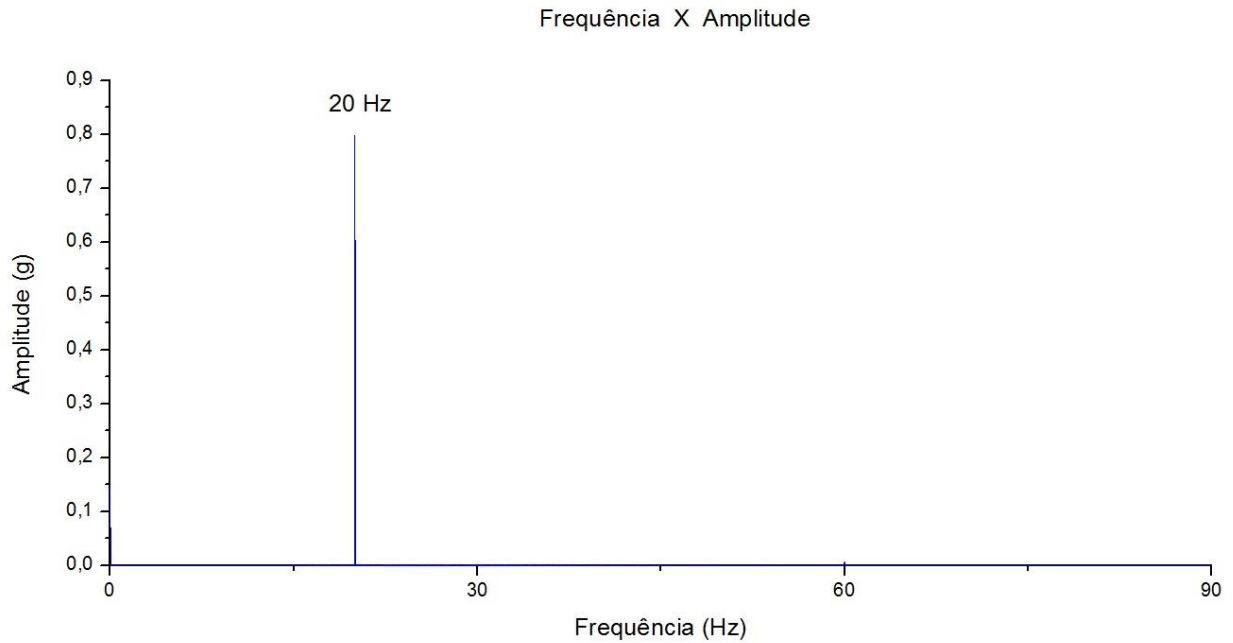


Figura 56 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro 352C03 (*shaker* excitado em 20 Hz).

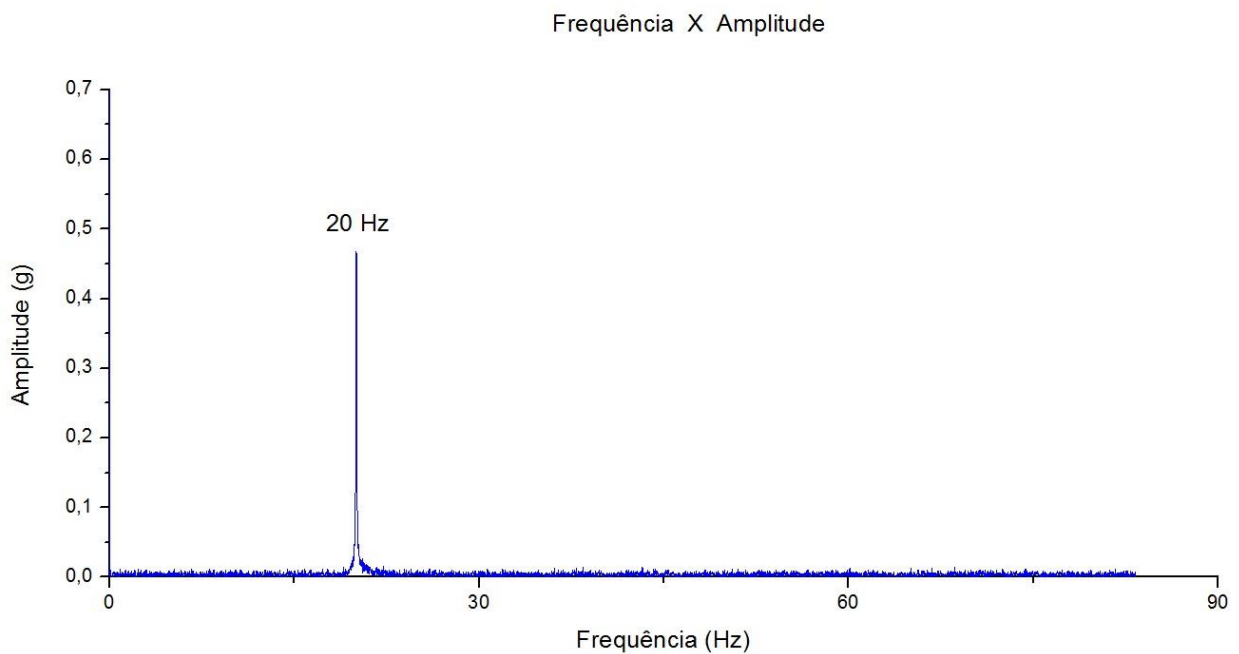


Figura 57 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro *wireless* (*shaker* excitado em 20 Hz).

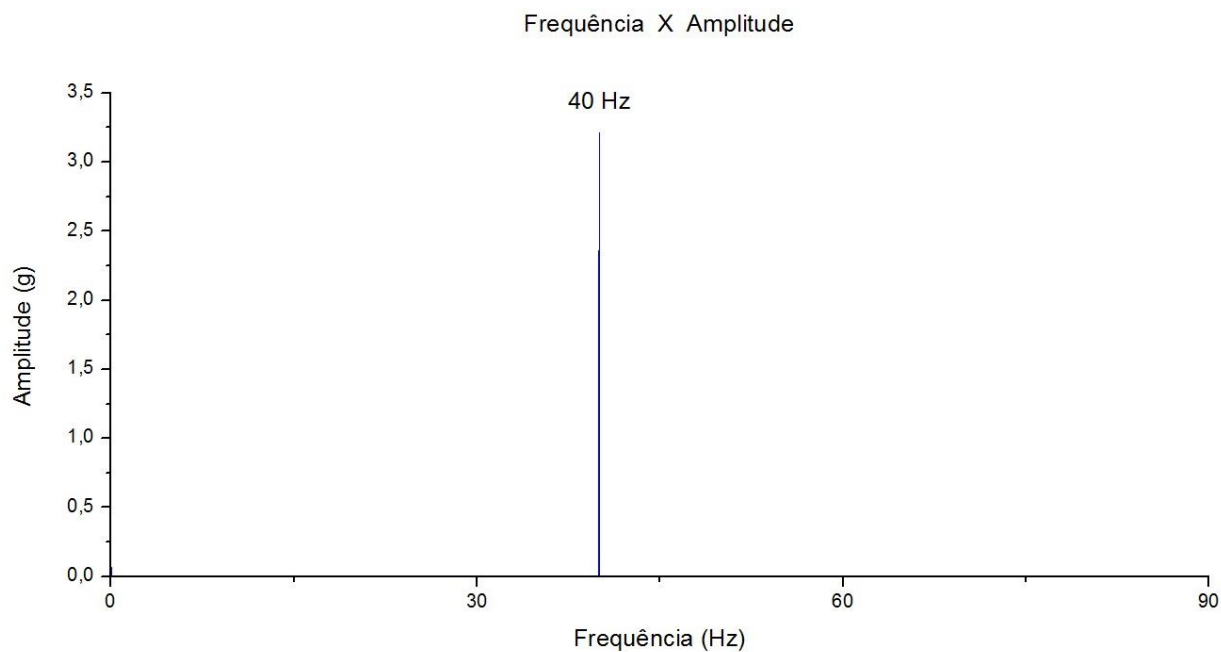


Figura 58 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro 352C03 (*shaker* excitado em 40 Hz).

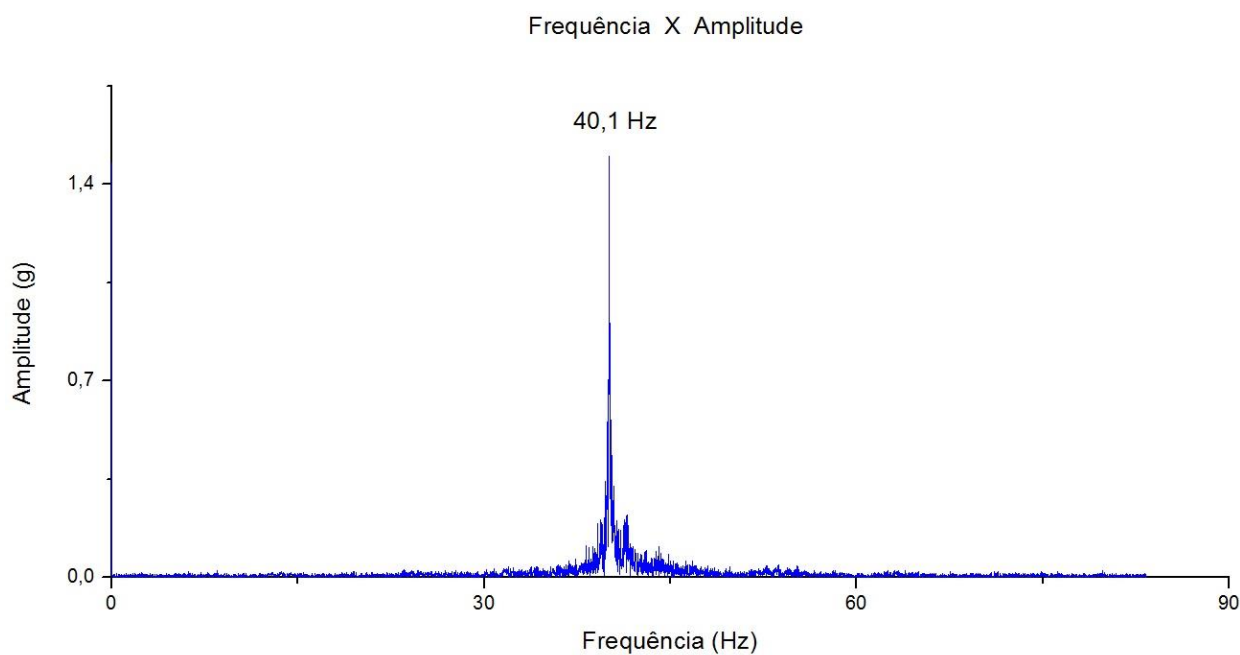


Figura 59 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro *wireless* (*shaker* excitado em 40 Hz).

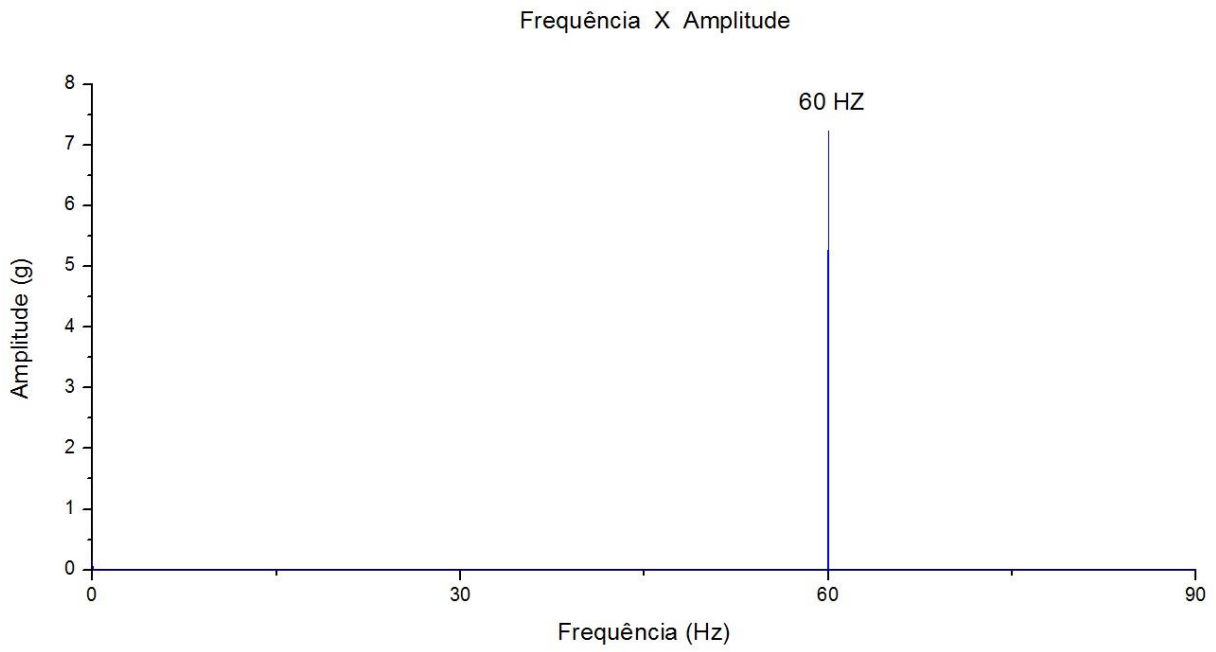


Figura 60 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro 352C03 (*shaker* excitado em 60 Hz).

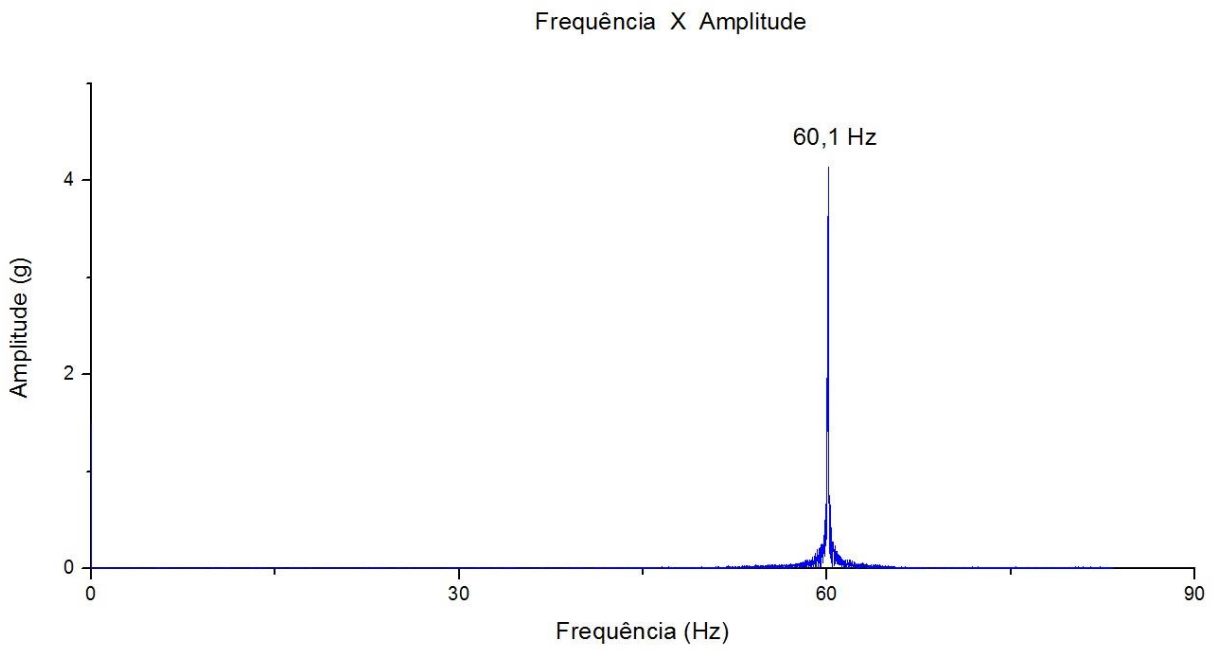


Figura 61 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro *wireless* (*shaker* excitado em 60 Hz).

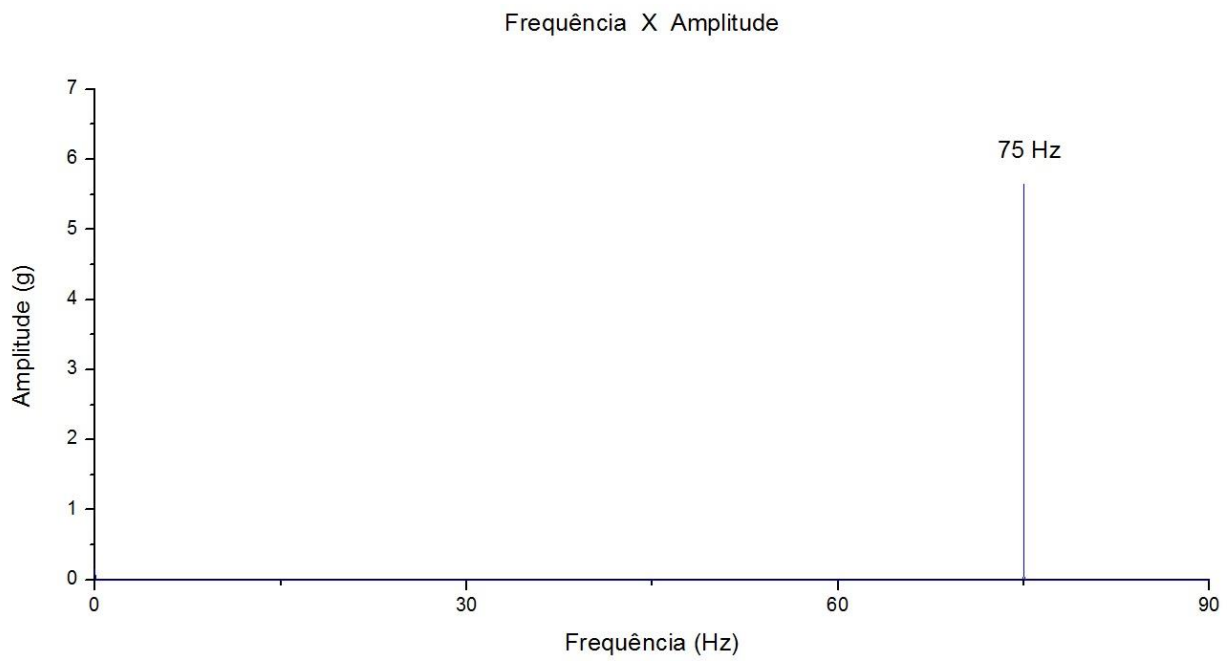


Figura 62 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro 352C03 (*shaker* excitado em 75 Hz).

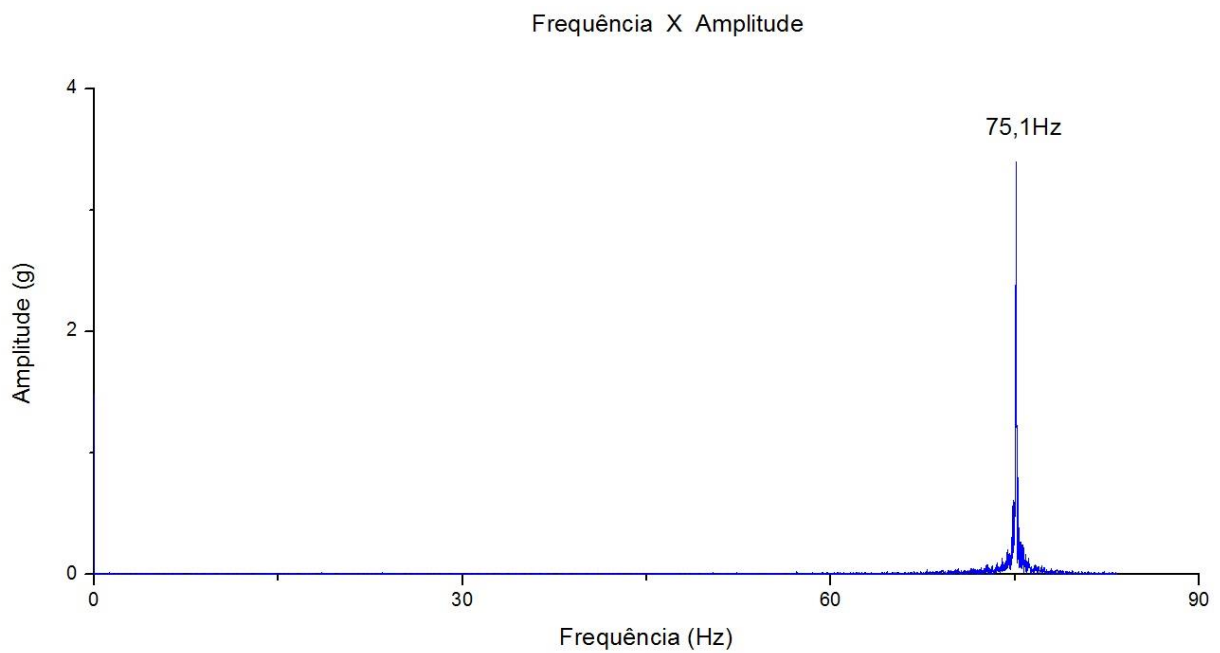


Figura 63 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro *wireless* (*shaker* excitado em 75 Hz).

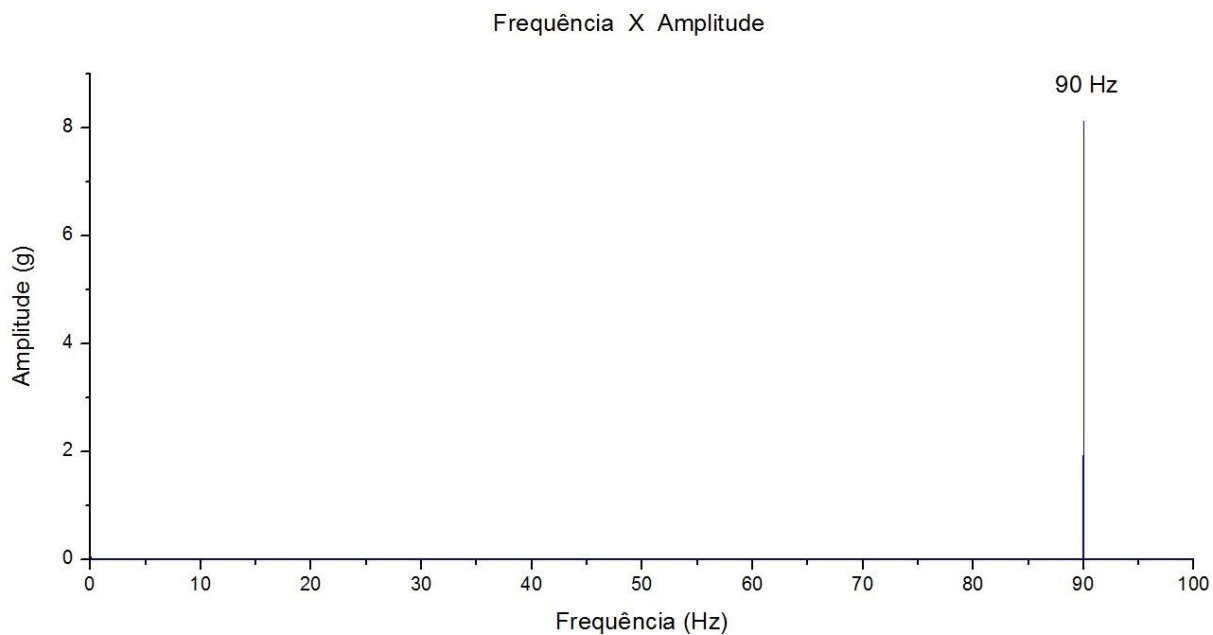


Figura 64 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro 352C03 (*shaker* excitado em 90 Hz).

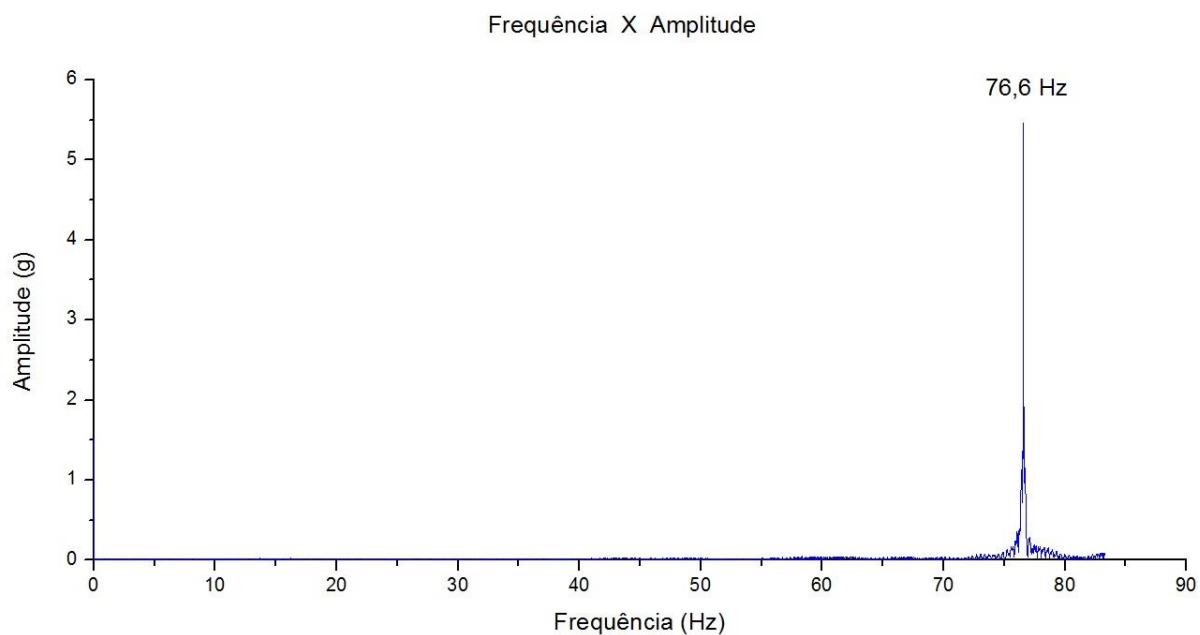


Figura 65 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro *wireless* (*shaker* excitado em 90 Hz).

Analisando os espectros percebe-se que o acelerômetro *wireless* conseguiu medir corretamente as frequências de 20 a 75 Hz. Foi notado um erro de aproximadamente 0,25%, 0,17% e 0,13% nas frequências de 40, 60 e 75 Hz respectivamente. Esses erros, por serem pequenos, não influenciam significativamente na análise dos dados.

A frequência de 90 Hz não foi corretamente aferida por estar acima da metade da frequência de amostragem do acelerômetro *wireless*. No espectro da Fig. (71) é notado um pico na frequência de 76,6 Hz ao invés de 90 Hz, devido ao efeito de *aliasing*.

Os espectros produzidos através das medições do acelerômetro PCB 352C03 são “limpos” e apresentam um único pico, na frequência de excitação. Já os produzidos pelo acelerômetro *wireless* são mais “sujos” e apresentam pequenos picos próximos a frequência de excitação. Isso ocorre devido à diferença de resolução e taxa de amostragem entre os acelerômetros. Uma diferença na amplitude dos maiores picos também é observada e pode ser explicada pelo mesmo argumento.

6.7 MEDIÇÃO NA MÁQUINA VIBRO-COMPACTADORA

A vibração vertical na forma da máquina foi medida por meio do acelerômetro piezoelétrico PCB Piezotronics 352C03. Esse acelerômetro foi configurado para fazer a captura de dados a uma taxa de 5000 Hz. Os resultados dessa medição, para um ciclo de produção, são mostrados na figura Fig. (67).



Figura 66 – Acelerômetro piezoelétrico preso à aba da forma.

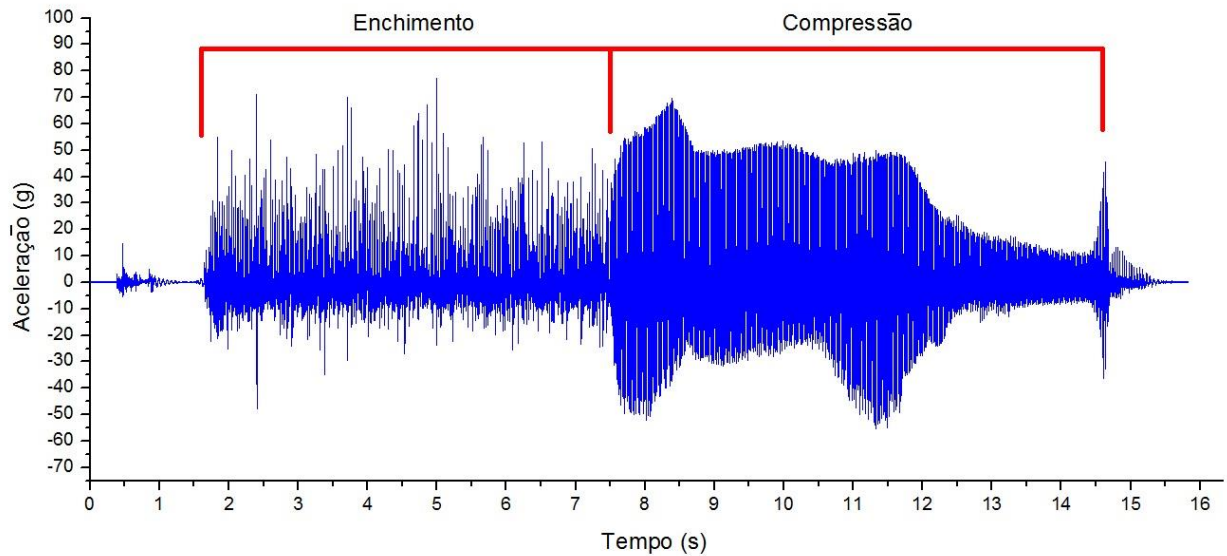


Figura 67 – Aceleração aferida na forma em um ciclo de produção.

Por meio do programa LabVIEW obteve-se o espectro de frequência, Fig. (56), do sinal mostrado na Fig. (55).

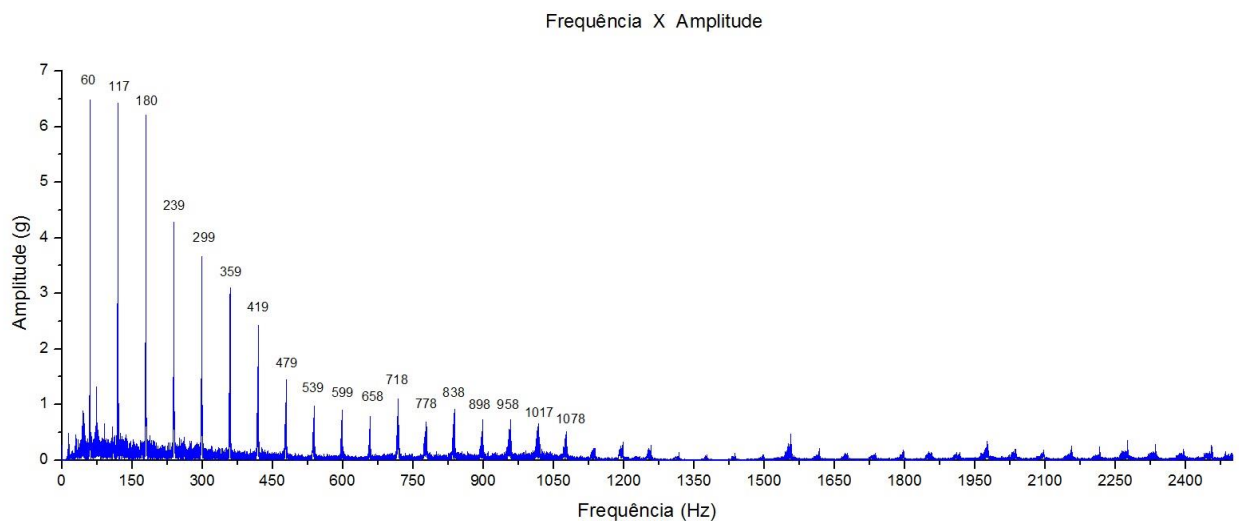


Figura 68 – Espectro de frequências de um ciclo de produção dos blocos.

Observa-se na Fig. (56) que o sinal analisado possui um espectro de frequência muito grande. Picos com amplitudes consideráveis são observados até a frequência de 1078 Hz. Dessa maneira, uma frequência de amostragem maior que 2156 Hz seria necessária. Logicamente que de acordo com o teorema de Shannon, mesmo utilizando uma taxa de amostragem de 2156 Hz haveria um erro associado, devido aos pequenos picos observados além da frequência de 1078 Hz.

A partir da análise realizada acima, verifica-se que a taxa de amostragem de 166 Hz do acelerômetro wireless é muito baixa para realizar a monitoração da vibração na forma do bloco.

6.7.1 Efeito Aliasing

Para analisar o efeito *aliasing* no sinal obtido através do acelerômetro desenvolvido, foi realizada uma medição na forma da máquina. Nessa medição foram utilizados o acelerômetro *wireless* e o piezoelétrico PCB 352C03 que foi configurado com uma taxa de amostragem de 2500 Hz.



Figura 69 – Protótipo do Acelerômetro desenvolvido e o PCB 352C03 instalados lado a lado na aba da forma.

As Figuras (59) e (60) apresentam os gráficos dos espectros em frequência calculados a partir do sinal dos dois acelerômetros.

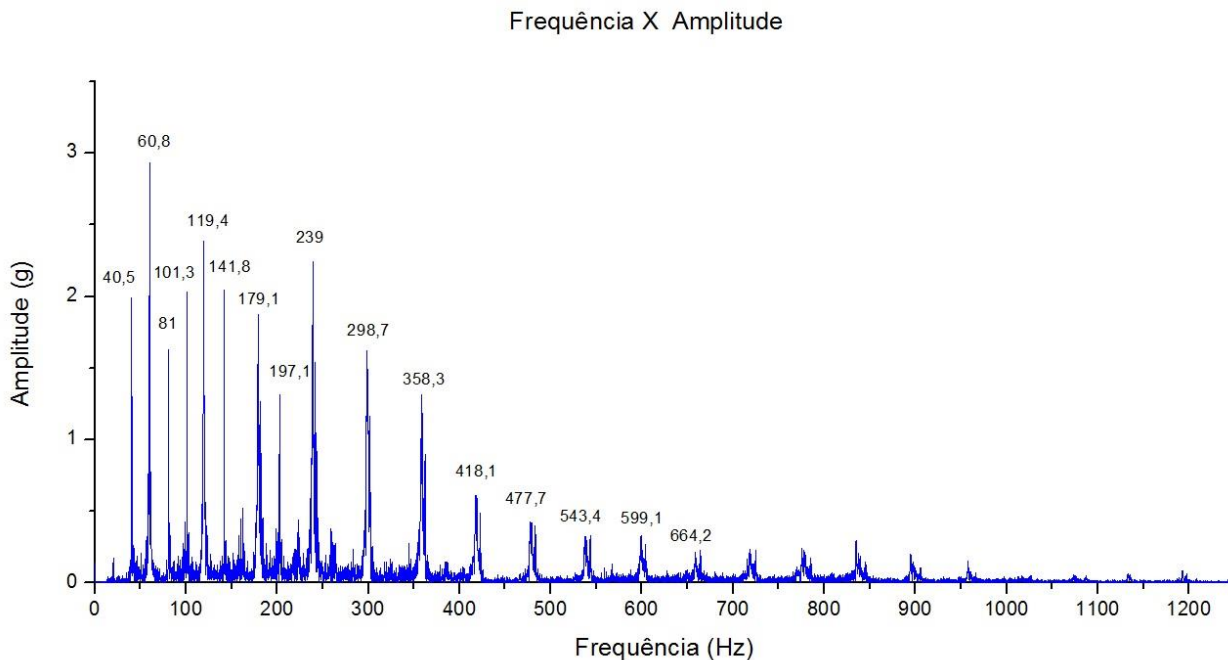


Figura 70 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro PCB 352C03.

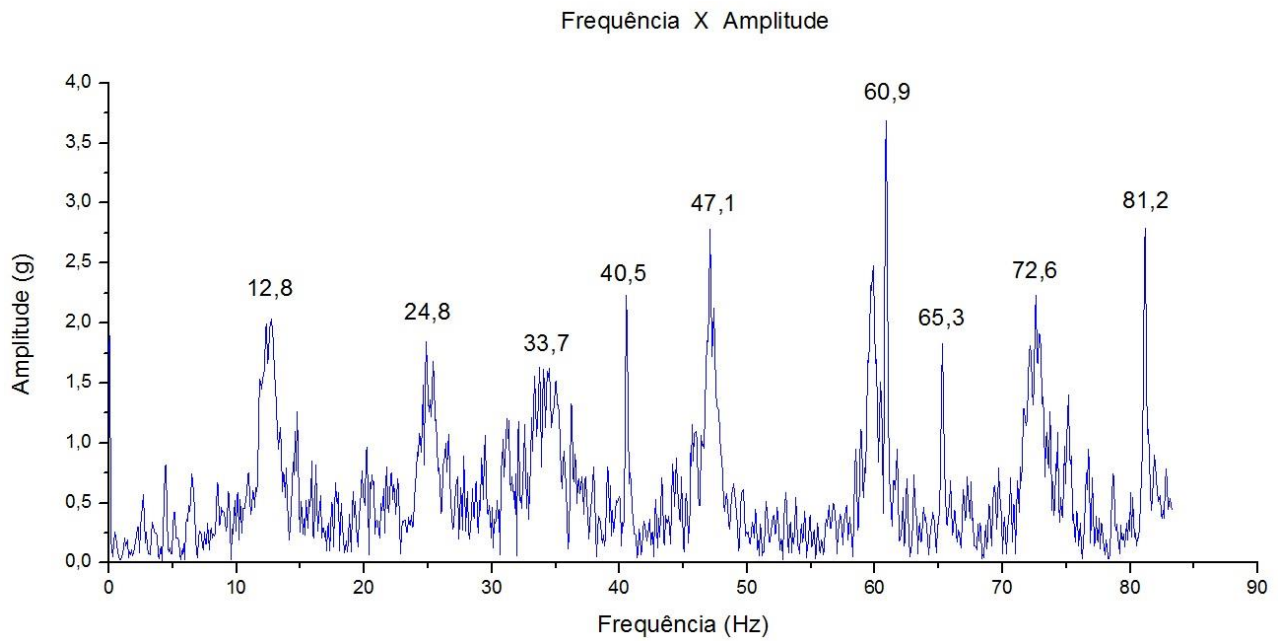


Figura 71 – Espectro de frequência do sinal do acelerômetro *wireless*.

Pode-se observar que o espectro do acelerômetro wireless apresenta alguns picos que não são visualizados no espectro do acelerômetro PCB 352C03. Esses picos representam frequências de *aliasing* (F_{ali}). Por meio da fórmula apresentada na Eq. (32) é possível calcular quais frequências deram origem às F_{ali} 's

$$F_{ali} = |ABS - F_a| \quad (32)$$

Onde F_a é a frequência de entrada e ABS é o múltiplo inteiro da frequência de amostragem mais próximo de F_a . Utilizando a Eq. (77) e as frequências da Fig.(59) temos:

$$|166,3 * 2 - 298,7| = 33,9 \cong 33,7 \quad (33)$$

$$|166,3 - 239| = 72,7 \cong 72,6 \quad (34)$$

$$|166,3 - 179,1| = 12,8 = 12,8 \quad (35)$$

$$|166,3 - 141,8| = 24,5 \cong 24,8 \quad (36)$$

$$|166,3 - 119,4| = 46,9 \cong 47,1 \quad (37)$$

$$|166,3 - 101,3| = 65 \cong 65,3 \quad (38)$$

Diante ao exposto, pode-se concluir, que as frequências 33,7 , 72,6 , 12,8 , 24,8 , 47,1 e 65,3 mostradas no espectro da Fig.64, representam na verdade as frequências 298,7 , 239 , 179,1 , 141,8 , 119,4 e 101,3 respectivamente.

Na análise acima foi possível identificar as frequências de *aliasing* por meio da comparação do sinal do acelerômetro *wireless* com o sinal do acelerômetro PCB 352C03. Logicamente, essas frequências não poderiam ser identificadas somente a partir do sinal do acelerômetro *wireless*.

O efeito de *aliasing* torna impraticável a utilização do acelerômetro desenvolvido para análise da vibração na aba da forma. Como pode ser observado esse efeito provoca o surgimento de falsas frequências no sinal obtido que podem gerar uma análise equivocada dos dados.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho é apresentada uma análise experimental da influência da vibração na resistência de blocos de concreto produzidos em máquinas vibro-compactadoras. A partir de uma análise teórica inicial, constatou-se que o pallet possui fundamental importância na transmissão da vibração ao molde do concreto. Por esse motivo, o estudo realizado apresenta uma análise detalhada desse componente.

Um aparato experimental baseado no método do martelo em queda livre (SCHWABE, 2010) foi construído e utilizado para avaliar a rigidez de pallets com diferentes idades de uso. As rigidezes medidas foram posteriormente comparadas com a resistência dos blocos produzidos nos pallets avaliados. Além disso, durante o processo de fabricação dos blocos, a aceleração na forma foi medida e relações entre a rigidez dos pallets, a aceleração na forma e a resistência dos blocos foram estabelecidas. A partir da análise dos dados obtidos, conclui-se que a aceleração da forma está relacionada com o tempo de uso do pallet utilizado na produção do bloco. Observou-se uma maior aceleração quando fez-se o uso de pallets mais novos. Por sua vez, essa aceleração, está atrelada à resistência do bloco produzido. Nota-se um aumento dessa resistência com o aumento da aceleração da forma.

Os valores obtidos do parâmetro de rigidez indicaram que os pallets novos analisados possuem uma rigidez superior a dos pallets usados. Já comparando as rigidezes entre os pallets com dois e vinte e quatro meses de uso, não foi notada diferença significativa. Esses resultados não eram esperados, visto que, os pallets com vinte e quatro meses de uso por estarem mais desgastados produziram blocos de menor resistência. Assim, era esperado que apresentassem menor rigidez. Possivelmente, as oito medições realizadas em cada pallet não foram suficientes para caracterizar corretamente a rigidez do pallet como um todo. Para isso, seriam necessárias mais medições, visto a grande variação desse parâmetro ao longo do pallet, provocada principalmente pelo material do pallet (compensado naval multilaminado) e o desgaste não homogêneo.

Por último, motivado pela influência da aceleração do molde na qualidade dos blocos fabricados somado à dificuldade de instrumentação da máquina vibro-compactadora, foi desenvolvido um acelerômetro com transmissão de dados sem fio para a monitoração da aceleração da forma. O acelerômetro possui taxa de transmissão de 166 Hz, desta forma, é capaz de realizar medições até 83Hz. Nessa faixa, as medições do acelerômetro desenvolvido apresentaram bons resultados. No entanto, essa faixa mostrou-se insuficiente para o monitoramento de máquinas vibro-compactadoras, que apresentam componentes de frequência importantes até 1100 Hz. Um aumento dessa taxa pode ser facilmente obtido pela substituição do sistema de transmissão de dados utilizado (Xbee-Pro) por outro que forneça um maior taxa de transmissão de dados.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os seguintes temas são interessantes para abordagens futuras:

- Estudo da influência da direção de vibração no adensamento de blocos de concreto em máquinas vibro-compactadoras;
- Desenvolvimento de um método, diferente do apresentado nesse trabalho, para a análise da rigidez e amortecimento dos pallets;
- Comparação do adensamento provocado pelo uso de pallets de diferentes materiais como bambu, PVC, plástico e aço;
- Estudo da frequência ótima de vibração no adensamento do bloco;
- Modelagem matemática da parte dinâmica de uma máquina vibro-compactadora;

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUÁRIO PINI DA CONSTRUÇÃO. **Resistência em bloco, 2012**. Disponível em: <http://anuario.piniweb.com.br/construcao-servicos/2012/artigo253341-1.asp>: 08 de janeiro de 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco vazado de concreto simples para alvenaria - Requisitos**. NBR 6136. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco vazado de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio**. NBR 12118. Rio de Janeiro, 2011. 13p.

BURG G. R.U. **Behavior of Fresh Concrete During Vibration ACI 309.1 R-93. (Reapproved 1998). Reported by ACI Committee 309**, 1998 Disponível em: http://civilwares.free.fr/ACI/MCP04/3091r_93.pdf . Acesso em 08 de janeiro de 2013.

MOTHES. S. **Medição sem fio da oscilação para monitoramento do processo a análise do estado das máquinas de blocos**. Revista: Fci Fábrica de concreto internacional, sexta edição 2009. Disponível em: <http://www.cpi-worldwide.com/br>. Acesso em: 10 de janeiro de 2013.

PAIOVICI, R et. al. **About Concrete Consolidation and Vibration**. The annals of “dunarea de jos” university of galati fascicle xiv mechanical engineering, issn 1224-5615 2004. Disponível em: <http://www.ann.ugal.ro/im/anale-fib-2004-16.pdf>. Acesso em: 13 de janeiro de 2013.

PERSOL. A. G. e PAEZ. T.L. **Harris' Shock and Vibration Handbook**. Editora: McGRAW – HILL, Ed. 2009.

POPOVICS, S. **A Review of the Concrete Consolidation by Vibration**, Materials and, Structures-Research and Testing,RILEM, V. 6, No. 36, Paris, Nov.-Dec. 1973, pp. 453-463.

RAO, S. S. **Vibrações Mecânicas**. Editora: Pearson Prentice Hall, Ed. 2009.

SCHWABE, J. H. **A influência dos pallets no adensamento em máquinas de blocos de concreto**. Revista: Fci Fábrica de concreto internacional, primeira edição 2010. Disponível em <http://www.cpi-worldwide.com/br>. Acesso em 09 de janeiro de 2013.

SOUSA, J. G. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado**. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, 2001.

10. ANEXOS

		Pág.
Anexo I	Laudo do ensaio à compressão realizado nos blocos produzidos utilizando o pallet 1	XX
Anexo II	Laudo do ensaio à compressão realizado nos blocos produzidos utilizando o pallet 2	XX
Anexo III	Laudo do ensaio à compressão realizado nos blocos produzidos utilizando o pallet 3	XX
Anexo IV	Laudo do ensaio à compressão realizado nos blocos produzidos utilizando o pallet 4	XX
Anexo V	Laudo do ensaio à compressão realizado nos blocos produzidos utilizando o pallet 5	XX
Anexo VI	Laudo do ensaio à compressão realizado nos blocos produzidos utilizando o pallet 6	XX
Anexo VII	Laudo do ensaio à compressão realizado nos blocos produzidos utilizando o pallet 7	XX
Anexo VIII	Laudo do ensaio à compressão realizado nos blocos produzidos utilizando o pallet 8	XX
Anexo IX	Laudo do ensaio à compressão realizado nos blocos produzidos utilizando o pallet 9	XX
Anexo X	Laudo do ensaio à compressão realizado nos blocos produzidos utilizando o pallet 10	XX
Anexo XI	Laudo do ensaio à compressão realizado nos blocos produzidos utilizando o pallet 11	XX
Anexo XII	Laudo do ensaio à compressão realizado nos blocos produzidos utilizando o pallet 12	XX

ANEXO I: LAUDO DO ENSAIO À COMPRESSÃO REALIZADO NOS BLOCOS PRODUZIDOS UTILIZANDO O PALLET 1



PEDIDO DE ENSAIO n°

FORNECEDOR : PREMOTECNO INDUSTRIA DE ARTEFATOS DE CIMENTO LTDA

CLIENTE :

AMOSTRA : BLOCOS DE VEDAÇÃO SIMPLES PARA ALVENARIA.

Blocos de Vedação de Concreto Alvenaria

NBR-6136/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos

NBR-12118/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaios

Dados Data de fabricação: 27/04/13 Resistência (Fbk):
 Data de ruptura: 03/05/13 Identificação do lote: Pallet 1
 Idade: 6 dias

ANÁLISE DIMENSIONAL

CP Nº	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPIMENTO (mm)
1	139,6	189,2	389,7
2	138,2	189,6	389,1
3	139,8	189,8	389,2
4	138,9	189,1	388,9
Limites	±2	±3	±3

Obs: : **DIMENSÕES SATISFATÓRIAS**

ENSAIO DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO

CP Nº	ÁREA BRUTA (mm)	CARGA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA (MPa)		
			INDIVIDUAL (fb)	MÉDIA (fb)	CARACTERÍSTICA (fbk)
1	54.402	249.800	4,6	4,8	fbk _{med} : 2,0
2	53.774	234.400	4,4		
3	54.410	263.000	4,8	Desvio Padrão	RESISTENCIA SATISFATÓRIA
4	54.018	294.500	5,5		
				0,5	

Obs: :fbk_{med} → fbk de projeto - Resultado satisfatório

ENSAIOS: UMIDADE, ABSORÇÃO E ÁREA LÍQUIDA

CP Nº	UNIDADE (%)	MÉDIA (%)	ABSORÇÃO (%)	MÉDIA (%)	ÁREA LÍQUIDA (mm)	MÉDIA (%)	CP Nº
1	-	-	-	-	-	-	1
2	-		-	-	-		2
3	-		-	-	-		3
ESPECIFICAÇÃO		Agregado normal: absorção média ≤ 10,0% e agregado leve: absorção individual ≤ 16% e média ≤ 13,0%					

Obs: :

ANÁLISE DOS ENSAIOS

Os Blocos analisados atendem os requisitos de Norma Brasileira quanto a RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO. Para Fbk = 3,0 MPa

ANEXO II: LAUDO DO ENSAIO À COMPRESSÃO REALIZADO NOS BLOCOS PRODUZIDOS UTILIZANDO O PALLET 2



PEDIDO DE ENSAIO n°

FORNECEDOR : PREMOTECNO INDUSTRIA DE ARTEFATOS DE CIMENTO LTDA

CLIENTE :

AMOSTRA : BLOCOS DE VEDAÇÃO SIMPLES PARA ALVENARIA.

Blocos de Vedação de Concreto Alvenaria

NBR-6136/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos

NBR-12118/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaios

Dados Data de fabricação: 27/04/13 Resistência (Fbk):
 Data de ruptura: 03/05/13 Identificação do lote: Pallet 2
 Idade: 6 dias

ANÁLISE DIMENSIONAL

CP Nº	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPIMENTO (mm)
1	139,6	189,2	389,7
2	138,2	189,6	389,1
3	139,8	189,8	389,2
4	138,9	189,1	388,9
Limites			±3
Obs:			DIMENSÕES SATISFATÓRIAS

ENSAIO DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO

CP Nº	AREA BRUTA (mm)	CARGA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA (MPa)		
			INDIVIDUAL (fb)	MÉDIA (fb)	CARACTERÍSTICA (fbk)
1	54.402	271.400	5,0	4,2	fbk _{med} : 2,0
2	53.774	228.700	4,3		
3	54.410	204.500	3,8	Desvio Padrão	
4	54.018	211.100	3,9	0,5	
Obs:			RESISTENCIA SATISFATÓRIA		

Obs: :fbk_{med} > fbk de projeto - Resultado satisfatório

ENSAIOS: UMIDADE, ABSORÇÃO E ÁREA LÍQUIDA

CP Nº	UNIDADE (%)	MÉDIA (%)	ABSORÇÃO (%)	MÉDIA (%)	ÁREA LÍQUIDA (mm)	MÉDIA (%)	CP Nº
1	-	-	-	-	-	-	1
2	-		-	-	-		2
3	-		-	-	-		3
ESPECIFICAÇÃO		Agregado normal: absorção média ≤ 10,0% e agregado leve: absorção individual ≤ 16% e média ≤ 13,0%					
Obs: :							

ANÁLISE DOS ENSAIOS

Os Blocos analisados atendem os requisitos de Norma Brasileira quanto a RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO. Para Fbk = 3,0 MPa

ANEXO III: LAUDO DO ENSAIO À COMPRESSÃO REALIZADO NOS BLOCOS PRODUZIDOS UTILIZANDO O PALLET 3



PEDIDO DE ENSAIO

n°

FORNECEDOR : PREMOTECNO INDUSTRIA DE ARTEFATOS DE CIMENTO LTDA

CLIENTE :

AMOSTRA : BLOCOS DE VEDAÇÃO SIMPLES PARA ALVENARIA.

Blocos de Vedação de Concreto Alvenaria

NBR-6136/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos

NBR-12118/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaios

Dados Data de fabricação: 27/04/13 Resistência (Fbk):
 Data de ruptura: 03/05/13 Identificação do lote: Pallet 3
 Idade: 6 dias

ANÁLISE DIMENSIONAL

CP Nº	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPRIMENTO (mm)
1	139,6	189,2	389,7
2	138,2	189,6	389,1
3	139,8	189,8	389,2
4	138,9	189,1	388,9
Limites	±2	±3	±3

Obs: : **DIMENSÕES SATISFATÓRIAS**

ENSAIO DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO

CP Nº	ÁREA BRUTA (mm)	CARGA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA (MPa)		
			INDIVIDUAL (fb)	MÉDIA (fb)	CARACTERÍSTICA (fbk)
1	54.402	282.000	5,2	4,6	fbk _{est} : 2,0
2	53.774	264.700	4,9		
3	54.410	225.800	4,1	Desvio Padrão	RESISTENCIA SATISFATÓRIA
4	54.018	233.800	4,3		
				0,5	

Obs: :fbk_{est} > fbk de projeto - Resultado satisfatório

ENSAIOS: UMIDADE, ABSORÇÃO E ÁREA LÍQUIDA

CP Nº	UNIDADE (%)	MÉDIA (%)	ABSORÇÃO (%)	MÉDIA (%)	ÁREA LÍQUIDA (mm)	MÉDIA (%)	CP Nº
1	-	-	-	-	-	-	1
2	-		-	ABSORÇÃO SATISFATÓRIA	-		2
3	-		-	-	-		3
ESPECIFICAÇÃO		Agregado normal: absorção média ≤ 10,0% e agregado leve: absorção individual ≤ 16% e média ≤ 13,0%					

Obs: :

ANÁLISE DOS ENSAIOS

Os Blocos analisados atendem os requisitos de Norma Brasileira quanto a RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO. Para Fbk = 3,0 MPa

ANEXO IV: LAUDO DO ENSAIO À COMPRESSÃO REALIZADO NOS BLOCOS PRODUZIDOS UTILIZANDO O PALLET 4



PEDIDO DE ENSAIO n°

FORNECEDOR : PREMOTECNO INDUSTRIA DE ARTEFATOS DE CIMENTO LTDA

CLIENTE :

AMOSTRA : BLOCOS DE VEDAÇÃO SIMPLES PARA ALVENARIA.

Blocos de Vedação de Concreto Alvenaria

NBR-6136/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos

NBR-12118/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaios

Dados Data de fabricação: 27/04/13 Resistência (Fbk):
 Data de ruptura: 03/05/13 Identificação do lote: Pallet 4
 Idade: 6 dias

ANÁLISE DIMENSIONAL

CP Nº	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPRIIMENTO (mm)
1	139,6	189,2	389,7
2	138,2	189,6	389,1
3	139,8	189,8	389,2
4	138,9	189,1	388,9
Limites	±2	±3	±3
Obs:	DIMENSÕES SATISFATÓRIAS		

ENSAIO DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO

CP Nº	ÁREA BRUTA (mm)	CARGA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA (MPa)		
			INDIVIDUAL (fb)	MÉDIA (fb)	CARACTERÍSTICA (fbk)
1	54.402	293.300	5,4	4,5	fbk _{est} : 2,0
2	53.774	232.900	4,3		
3	54.410	214.600	3,9	Desvio Padrão	RESISTENCIA SATISFATÓRIA
4	54.018	242.600	4,5		
				0,6	
Obs:	:fbk _{est} → fbk de projeto - Resultado satisfatório				

ENSAIOS: UMIDADE, ABSORÇÃO E ÁREA LÍQUIDA

CP Nº	UNIDADE (%)	MÉDIA (%)	ABSORÇÃO (%)	MÉDIA (%)	ÁREA LÍQUIDA (mm)	MÉDIA (%)	CP Nº
1	-	-	-	-	-	-	1
2	-		-	-	-		2
3	-		-	-	-		3
ESPECIFICAÇÃO		Agregado normal: absorção média ≤ 10,0% e agregado leve: absorção individual ≤ 16% e média ≤ 13,0%					
Obs:	:						

ANÁLISE DOS ENSAIOS

Os Blocos analisados atendem os requisitos de Norma Brasileira quanto a RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO. Para Fbk = 3,0 MPa

ANEXO V: LAUDO DO ENSAIO À COMPRESSÃO REALIZADO NOS BLOCOS PRODUZIDOS UTILIZANDO O PALLET 5



PEDIDO DE ENSAIO n°

FORNECEDOR : PREMOTECNO INDUSTRIA DE ARTEFATOS DE CIMENTO LTDA
 CLIENTE :
 AMOSTRA : BLOCOS DE VEDAÇÃO SIMPLES PARA ALVENARIA.

Blocos de Vedação de Concreto Alvenaria

NBR-6136/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requeijitos
 NBR-12118/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaios

Dados Data de fabricação: 27/04/13 Resistência (Fbk):
 Data de ruptura: 03/05/13 Identificação do lote: Pallet 5
 Idade: 6 dias

ANÁLISE DIMENSIONAL

CP N°	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPIMENTO (mm)
1	139,6	189,2	389,7
2	138,2	189,6	389,1
3	139,8	189,8	389,2
4	138,9	189,1	388,9
Limites	±2	±3	±3
Obs:	DIMENSÕES SATISFATÓRIAS		

ENSAIO DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO

CP N°	AREA BRUTA (mm)	CARGA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA (MPa)		
			INDIVIDUAL (fb)	MÉDIA (fb)	CARACTERÍSTICA (fbk)
1	54.402	299.000	5,5	4,5	fbk _{med} : 2,0
2	53.774	225.000	4,2		
3	54.410	211.000	3,9	Desvio Padrão	
4	54.018	233.400	4,3	0,7	RESISTENCIA SATISFATÓRIA
Obs:	:fbk _{med} > fbk de projeto - Resultado satisfatório				

ENSAIOS: UMIDADE, ABSORÇÃO E ÁREA LÍQUIDA

CP N°	UNIDADE (%)	MÉDIA (%)	ABSORÇÃO (%)	MÉDIA (%)	ÁREA LÍQUIDA (mm)	MÉDIA (%)	CP N°
1	-	-	-	-	-	-	1
2	-		-	-	-		2
3	-		-	-	-		3
ESPECIFICAÇÃO		Agregado normal: absorção média ≤ 10,0% e agregado leve: absorção individual ≤ 16% e média ≤ 13,0%					
Obs:							

ANÁLISE DOS ENSAIOS

Os Blocos analisados atendem os requisitos de Norma Brasileira quanto a RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO. Para Fbk = 3,0 MPa

ANEXO VI: LAUDO DO ENSAIO À COMPRESSÃO REALIZADO NOS BLOCOS PRODUZIDOS UTILIZANDO O PALLET 6



PEDIDO DE ENSAIO n°

FORNECEDOR : PREMOTECNO INDUSTRIA DE ARTEFATOS DE CIMENTO LTDA

CLIENTE :

AMOSTRA : BLOCOS DE VEDAÇÃO SIMPLES PARA ALVENARIA.

Blocos de Vedação de Concreto Alvenaria

NBR-6136/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos

NBR-12118/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaios

Dados Data de fabricação: 27/04/13 Resistência (Fbk):
 Data de ruptura: 03/05/13 Identificação do lote: Pallet 6
 Idade: 6 dias

ANÁLISE DIMENSIONAL

CP Nº	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPIMENTO (mm)
1	139,6	189,2	389,7
2	138,2	189,6	389,1
3	139,8	189,8	389,2
Limites	±2	±3	±3
Obs:	DIMENSÕES SATISFATÓRIAS		

ENSAIO DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO

CP Nº	AREA BRUTA (mm)	CARGA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA (MPa)		
			INDIVIDUAL (fb)	MÉDIA (fb)	CARACTERÍSTICA (fbk)
1	54.402	247.000	4,5	4,0	fbk _{med} : 2,0
2	53.774	202.800	3,8		
3	54.410	204.800	3,8		
				Desvio Padrão	
				0,4	RESISTENCIA SATISFATÓRIA
Obs:	:fbk _{med} > fbk de projeto - Resultado satisfatório				

ENSAIOS: UMIDADE, ABSORÇÃO E ÁREA LÍQUIDA

CP Nº	UNIDADE (%)	MÉDIA (%)	ABSORÇÃO (%)	MÉDIA (%)	ÁREA LÍQUIDA (mm)	MÉDIA (%)	CP Nº
1	-	-	-	-	-	-	1
2	-		-	-	-		2
3	-		-	-	-		3
ESPECIFICAÇÃO		Agregado normal: absorção média ≤ 10,0% e agregado leve: absorção individual ≤ 16% e média ≤ 13,0%					
Obs:	:						

ANÁLISE DOS ENSAIOS

Os Blocos analisados atendem os requisitos de Norma Brasileira quanto a RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO. Para Fbk = 3,0 MPa

ANEXO VII: LAUDO DO ENSAIO À COMPRESSÃO REALIZADO NOS BLOCOS PRODUZIDOS UTILIZANDO O PALLET 7



PEDIDO DE ENSAIO n°

FORNECEDOR : PREMOTECNO INDUSTRIA DE ARTEFATOS DE CIMENTO LTDA

CLIENTE :

AMOSTRA : BLOCOS DE VEDAÇÃO SIMPLES PARA ALVENARIA.

Blocos de Vedação de Concreto Alvenaria

NBR-6136/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos

NBR-12118/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaios

Dados Data de fabricação: 27/04/13 Resistência (Fbk):
 Data de ruptura: 03/05/13 Identificação do lote: Pallet 7
 Idade: 6 dias

ANÁLISE DIMENSIONAL

CP N°	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPIMENTO (mm)
1	139,6	189,2	389,7
2	138,2	189,6	389,1
3	139,8	189,8	389,2
4	138,9	189,1	388,9
Limites	±2	±3	±3
Obs:	DIMENSÕES SATISFATÓRIAS		

ENSAIO DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO

CP N°	AREA BRUTA (mm)	CARGA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA (MPa)		
			INDIVIDUAL (fb)	MÉDIA (fb)	CARACTERÍSTICA (fbk)
1	54.402	260.000	4,8	4,2	fbk _{est} : 2,0
2	53.774	206.500	3,8		
3	54.410	227.900	4,2	Desvio Padrão	
4	54.018	216.000	4,0	0,4	RESISTENCIA SATISFATÓRIA
Obs:	:fbk _{est} > fbk de projeto - Resultado satisfatório				

ENSAIOS: UMIDADE, ABSORÇÃO E ÁREA LÍQUIDA

CP N°	UNIDADE (%)	MÉDIA (%)	ABSORÇÃO (%)	MÉDIA (%)	ÁREA LÍQUIDA (mm)	MÉDIA (%)	CP N°
1	-	-	-	-	-	-	1
2	-		-	-	-		2
3	-		-	-	-		3
ESPECIFICAÇÃO		Agregado normal: absorção média ≤ 10,0% e agregado leve: absorção individual ≤ 16% e média ≤ 13,0%					
Obs:	:						

ANÁLISE DOS ENSAIOS

Os Blocos analisados atendem os requisitos de Norma Brasileira quanto a RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO. Para Fbk = 3,0 MPa

ANEXO VII: LAUDO DO ENSAIO À COMPRESSÃO REALIZADO NOS BLOCOS PRODUZIDOS UTILIZANDO O PALLET 8



PEDIDO DE ENSAIO n°

FORNECEDOR : PREMOTECNO INDUSTRIA DE ARTEFATOS DE CIMENTO LTDA

CLIENTE :

AMOSTRA : BLOCOS DE VEDAÇÃO SIMPLES PARA ALVENARIA.

Blocos de Vedação de Concreto Alvenaria

NBR-6136/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos

NBR-12118/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaios

Dados Data de fabricação: 27/04/13 Resistência (Fbk):
 Data de ruptura: 03/05/13 Identificação do lote: Pallet 8
 Idade: 6 dias

ANÁLISE DIMENSIONAL

CP Nº	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPIMENTO (mm)
1	139,6	189,2	389,7
2	138,2	189,6	389,1
3	139,8	189,8	389,2
4	138,9	189,1	388,9
Limites			±3
Obs:			DIMENSÕES SATISFATÓRIAS

ENSAIO DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO

CP Nº	ÁREA BRUTA (mm)	CARGA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA (MPa)		
			INDIVIDUAL (fb)	MÉDIA (fb)	CARACTERÍSTICA (fbk)
1	54.402	249.500	4,6	4,1	fbk _{med} t : 2,0
2	53.774	216.700	4,0		
3	54.410	207.000	3,8	Desvio Padrão	RESISTENCIA SATISFATÓRIA
4	54.018	224.000	4,1	0,3	
Obs: :fbk _{med} > fbk de projeto - Resultado satisfatório					

ENSAIOS: UMIDADE, ABSORÇÃO E ÁREA LÍQUIDA

CP Nº	UNIDADE (%)	MÉDIA (%)	ABSORÇÃO (%)	MÉDIA (%)	ÁREA LÍQUIDA (mm)	MÉDIA (%)	CP Nº
1	-	-	-	-	-	-	1
2	-		-	-	-		2
3	-		-	-	-		3
ESPECIFICAÇÃO		Agregado normal: absorção média ≤ 10,0% e agregado leve: absorção individual ≤ 16% e média ≤ 13,0%					
Obs: :							

ANÁLISE DOS ENSAIOS

Os Blocos analisados atendem os requisitos de Norma Brasileira quanto a RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO. Para Fbk = 3,0 MPa

ANEXO IX: LAUDO DO ENSAIO À COMPRESSÃO REALIZADO NOS BLOCOS PRODUZIDOS UTILIZANDO O PALLET 9



PEDIDO DE ENSAIO

nº

FORNECEDOR : PREMOTECNO INDUSTRIA DE ARTEFATOS DE CIMENTO LTDA

CLIENTE :

AMOSTRA : BLOCOS DE VEDAÇÃO SIMPLES PARA ALVENARIA.

Blocos de Vedação de Concreto Alvenaria

NBR-6136/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos

NBR-12118/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaios

Dados Data de fabricação: 27/04/13 Resistência (Fbk):
 Data de ruptura: 03/05/13 Identificação do lote: Pallet 9
 Idade: 6 dias

ANÁLISE DIMENSIONAL

CP Nº	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPIMENTO (mm)
1	139,6	189,2	389,7
2	138,2	189,6	389,1
3	139,8	189,8	389,2
4	138,9	189,1	388,9
Limites	±2	±3	±3
Obs:	DIMENSÕES SATISFATÓRIAS		

ENSAIO DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO

CP Nº	ÁREA BRUTA (mm)	CARGA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA (MPa)		
			INDIVIDUAL (tb)	MÉDIA (tb)	CARACTERÍSTICA (fbk)
1	54.402	233.200	4,3	3,8	fbk _{med} : 2,0
2	53.774	198.900	3,7		
3	54.410	195.300	3,6	Desvio Padrão	
4	54.018	185.800	3,4	0,4	RESISTENCIA SATISFATÓRIA
Obs:	:fbk _{med} > fbk de projeto - Resultado satisfatório				

ENSAIOS: UMIDADE, ABSORÇÃO E ÁREA LÍQUIDA

CP Nº	UNIDADE (%)	MÉDIA (%)	ABSORÇÃO (%)	MÉDIA (%)	ÁREA LÍQUIDA (mm)	MÉDIA (%)	CP Nº
1	-	-	-	-	-	-	1
2	-		-	-	-		2
3	-		-	-	-		3
ESPECIFICAÇÃO		Agregado normal: absorção média ≤ 10,0% e agregado leve: absorção individual ≤ 16% e média ≤ 13,0%					
Obs:	:						

ANÁLISE DOS ENSAIOS

Os Blocos analisados atendem os requisitos de Norma Brasileira quanto a RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO. Para Fbk = 3,0 MPa

ANEXO X: LAUDO DO ENSAIO À COMPRESSÃO REALIZADO NOS BLOCOS PRODUZIDOS UTILIZANDO O PALLET 10



PEDIDO DE ENSAIO n°

FORNECEDOR : PREMOTECNO INDUSTRIA DE ARTEFATOS DE CIMENTO LTDA

CLIENTE :

AMOSTRA : BLOCOS DE VEDAÇÃO SIMPLES PARA ALVENARIA.

Blocos de Vedação de Concreto Alvenaria

NBR-6136/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos

NBR-12118/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaios

Dados Data de fabricação: 27/04/13 Resistência (Fbk):
 Data de ruptura: 03/05/13 Identificação do lote: Pallet 10
 Idade: 6 dias

ANÁLISE DIMENSIONAL

CP Nº	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPIMENTO (mm)
1	139,6	189,2	389,7
2	138,2	189,6	389,1
3	139,8	189,8	389,2
4	138,9	189,1	388,9
Limites	±2	±3	±3
Obs:	DIMENSÕES SATISFATÓRIAS		

ENSAIO DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO

CP Nº	AREA BRUTA (mm)	CARGA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA (MPa)		
			INDIVIDUAL (fb)	MÉDIA (fb)	CARACTERÍSTICA (fbk)
1	54.402	234.400	4,3	3,6	fbk _{med} : 2,0
2	53.774	183.500	3,4		
3	54.410	177.800	3,3	Desvio Padrão	
4	54.018	187.200	3,5	0,5	RESISTENCIA SATISFATÓRIA
Obs:	:fbk _{med} > fbk de projeto - Resultado satisfatório				

ENSAIOS: UMIDADE, ABSORÇÃO E ÁREA LÍQUIDA

CP Nº	UNIDADE (%)	MÉDIA (%)	ABSORÇÃO (%)	MÉDIA (%)	ÁREA LÍQUIDA (mm)	MÉDIA (%)	CP Nº
1	-	-	-	-	-	-	1
2	-		-	-	-		2
3	-		-	-	-		3
ESPECIFICAÇÃO		Agregado normal: absorção média ≤ 10,0% e agregado leve: absorção individual ≤ 16% e média ≤ 13,0%					
Obs:	:						

ANÁLISE DOS ENSAIOS

Os Blocos analisados atendem os requisitos de Norma Brasileira quanto a RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO. Para Fbk = 3,0 MPa

ANEXO XI: LAUDO DO ENSAIO À COMPRESSÃO REALIZADO NOS BLOCOS PRODUZIDOS UTILIZANDO O PALLET 11



PEDIDO DE ENSAIO n°

FORNECEDOR : PREMOTECNO INDUSTRIA DE ARTEFATOS DE CIMENTO LTDA

CLIENTE :

AMOSTRA : BLOCOS DE VEDAÇÃO SIMPLES PARA ALVENARIA.

Blocos de Vedação de Concreto Alvenaria

NBR-6136/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos

NBR-12118/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaios

Dados Data de fabricação: 27/04/13 Resistência (Fbk):
 Data de ruptura: 03/05/13 Identificação do lote: Pallet 11
 Idade: 6 dias

ANÁLISE DIMENSIONAL

CP N°	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPIMENTO (mm)
1	139,6	189,2	389,7
2	138,2	189,6	389,1
3	139,8	189,8	389,2
4	138,9	189,1	388,9
Limites	±2	±3	±3
Obs:	DIMENSÕES SATISFATÓRIAS		

ENSAIO DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO

CP N°	ÁREA BRUTA (mm)	CARGA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA (MPa)		
			INDIVIDUAL (fb)	MÉDIA (fb)	CARACTERÍSTICA (fbk)
1	54.402	204.400	3,8	3,3	fbk _{med} : 2,0
2	53.774	122.000	2,3		
3	54.410	193.700	3,6	Desvio Padrão	RESISTENCIA SATISFATÓRIA
4	54.018	201.400	3,7		
				0,7	
Obs:	:fbk _{med} > fbk de projeto - Resultado satisfatório				

ENSAIOS: UMIDADE, ABSORÇÃO E ÁREA LÍQUIDA

CP N°	UNIDADE (%)	MÉDIA (%)	ABSORÇÃO (%)	MÉDIA (%)	ÁREA LÍQUIDA (mm)	MÉDIA (%)	CP N°
1	-	-	-	-	-	-	1
2	-		-	-	-		2
3	-		-	-	-		3
ESPECIFICAÇÃO		Agregado normal: absorção média ≤ 10,0% e agregado leve: absorção individual ≤ 16% e média ≤ 13,0%					
Obs:	:						

ANÁLISE DOS ENSAIOS

Os Blocos analisados atendem os requisitos de Norma Brasileira quanto a RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO. Para Fbk = 3,0 MPa

ANEXO XII: LAUDO DO ENSAIO À COMPRESSÃO REALIZADO NOS BLOCOS PRODUZIDOS UTILIZANDO O PALLET 12



PEDIDO DE ENSAIO n°

FORNECEDOR : PREMOTECNO INDUSTRIA DE ARTEFATOS DE CIMENTO LTDA

CLIENTE :

AMOSTRA : BLOCOS DE VEDAÇÃO SIMPLES PARA ALVENARIA.

Blocos de Vedação de Concreto Alvenaria

NBR-6136/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos

NBR-12118/06 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaios

Dados Data de fabricação: 27/04/13 Resistência (Fbk):
 Data de ruptura: 03/05/13 Identificação do lote: Pallet 12
 Idade: 6 dias

ANÁLISE DIMENSIONAL

CP Nº	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)	COMPRIMENTO (mm)
1	139,6	189,2	389,7
2	138,2	189,6	389,1
3	139,8	189,8	389,2
4	138,9	189,1	388,9
Limites ±2 ±3 ±3			
Obs: : DIMENSÕES SATISFATÓRIAS			

ENSAIO DE RESISTENCIA À COMPRESSÃO

CP Nº	ÁREA BRUTA (mm)	CARGA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA (MPa)		
			INDIVIDUAL (tf)	MÉDIA (tf)	CARACTERÍSTICA (Tpk)
1	54.402	245.000	4,5	4,0	fbk _{med} : 2,0
2	53.774	203.000	3,8		
3	54.410	224.600	4,1	Desvio Padrão	RESISTENCIA SATISFATÓRIA
4	54.018	196.100	3,6		
			0,4		
Obs: :fbk _{med} > fbk de projeto - Resultado satisfatório					

ENSAIOS: UMIDADE, ABSORÇÃO E ÁREA LÍQUIDA

CP Nº	UNIDADE (%)	MÉDIA (%)	ABSORÇÃO (%)	MÉDIA (%)	ÁREA LÍQUIDA (mm)	MÉDIA (%)	CP Nº
1	-	-	-	-	-	-	1
2	-		-	-	-		2
3	-		-	-	-		3
ESPECIFICAÇÃO		Agregado normal: absorção média ≤ 10,0% e agregado leve: absorção Individual ≤ 16% e média ≤ 13,0%					
Obs: :							

ANÁLISE DOS ENSAIOS

Os Blocos analisados atendem os requisitos de Norma Brasileira quanto a RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO. Para Fbk = 3,0 MPa