



**CORRELAÇÃO DAS VELOCIDADES DOS PULSOS ULTRASSÔNICOS
(VPU) MEDIDOS NAS POSIÇÕES SEMIDIRETA E INDIRETA
RELACIONADAS À VPU COM A MEDIDA DIRETA**

SÃO PAULO
2014



ANDRÉ MADEIRA FERNANDES

CRISTIANE GUIDA

NATÁLIA BRITO SILVA RODRIGUES

**CORRELAÇÃO DAS VELOCIDADES DOS PULSOS ULTRASSÔNICOS
(VPU) MEDIDOS NAS POSIÇÕES SEMIDIRETA E INDIRETA
RELACIONADAS À VPU COM A MEDIDA DIRETA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Patologia das Obras Cíveis, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Cíveis.

Orientador: Prof. Msc. Luís César De Luca.

SÃO PAULO
2014

AGRADECIMENTOS

Ao engenheiro civil Dr. Rodrigo Moysés Costa por toda orientação técnica, compreensão, paciência e permanente disponibilidade no transcorrer desta pesquisa.

Ao engenheiro civil Msc. Luís César S. De Luca pela valiosa colaboração na orientação, durante todas as etapas do processo de elaboração do trabalho.

Aos colegas do SEQUI-ETCM - engenheiros civis responsáveis pelo Assessoramento Técnico aos Empreendimentos da PETROBRAS - Eng. Augusto Tasso Sant'Anna Bevilaqua e Eng. Cesar Luiz Silva pela disponibilidade do equipamento utilizado nos ensaios e principalmente pela colaboração e incentivo nas diversas etapas deste trabalho e Eng. Bruno Alves de Carvalho por todo apoio, orientação e auxílio na realização dos ensaios.

Aos colegas e amigos Eng. Vinícius Campos Brandão e Eng. Waldemar Soares Souto por todo auxílio durante toda etapa experimental, sendo de grande valia para o cumprimento das datas de execução dos ensaios.

À concreteira TOPMIX, especialmente ao Eng. Alexandre Henrique pela doação dos agregados, cimento, aditivo utilizados na confecção dos concretos, além da utilização das instalações usadas para preservação e cura. Ao Sr. Luiz Gonzaga Ângelo por toda ajuda prestada durante a execução de moldagem e desforma.

FOLHA DE APROVAÇÃO

CORRELAÇÃO DAS VELOCIDADES DOS PULSOS ULTRASSÔNICOS (VPU) MEDIDOS NAS POSIÇÕES SEMIDIRETA E INDIRETA RELACIONADAS À VPU COM A MEDIDA DIRETA

Por

ANDRÉ MADEIRA FERNANDES

CRISTIANE GUIDA

NATÁLIA BRITO SILVA RODRIGUES

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIA NAS
OBRAS CIVIS, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS
PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

São Paulo (SP) ____ de _____ de _____.

Prof. Luís César S. De Luca, M.Sc

Prof. Cesar Henrique Sato Daher, M.Sc

Prof. André Tadeu Moreno Figueiró, Esp.

RESUMO

A metodologia de determinação de propriedades mecânicas do concreto por ultrassom é uma técnica não destrutiva, qualitativa e de confiabilidade consagrada, que se baseia na dependência da velocidade do pulso ultrassônico (VPU), através de propagação das ondas ultrassônicas com o estado de tensão do material. As principais vantagens desta técnica são seu caráter não destrutivo e o custo dos equipamentos envolvidos e velocidade de execução do ensaio.

O objetivo do presente trabalho é correlacionar as velocidades dos pulsos ultrassônicos medidos de forma semidireta e indireta com a medida direta, uma vez que os parâmetros de velocidades utilizados atualmente baseiam-se somente nas medidas obtidas de forma direta.

Para tanto, foi desenvolvido um programa experimental onde o ensaio de VPU foi realizado em 36 (trinta e seis) vigotas de concreto nas dimensões 10 x 10 x 100 cm. Estas vigotas foram divididas igualmente em 3 (três) lotes nos quais variaram o traço, fator água cimento, tipo de agregado graúdo. Por sua vez cada lote foi dividido igualmente em 2 (dois) conjuntos, sendo que em um deles foi adicionado peças de poliestireno (isopor) em prismas de 2 x 2 x 5 cm e laminas quadradas com espessura de 3mm x 5x5cm de comprimento e largura, com objetivo de simular imperfeições de concretagem.

O resultado da pesquisa determinou que a relação entre a velocidade indireta com a direta confirma as informações fornecidas pelo Ultrasonic Pulse Velocity Test Technical Reference Manual CNS Farnell, que menciona a correlação próxima de 1,05% para este caso; e que a correlação semidireta com a direta aumenta com a idade das vigotas medidas (7, 28 e 56 dias). O mesmo foi notado com a relação entre as medidas indiretas e semidiretas. Foi notório neste estudo que as velocidades verificadas nas tomadas indiretas são as mais variáveis, se comparado às obtidas com as medidas direta e semidireta, fazendo aumentar o coeficiente de variância (CV) em até 7,01%.

Palavras chave: pulso ultrassônico, resistência, velocidade, medidas indiretas, medidas diretas, medidas semidiretas, correlação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de funcionamento do aparelho de ultrassom (NAIK E MALHOTRA, 1991).	23
Figura 2 - Ilustração dos tipos de transmissão no ensaio de ultrassom (ABNT NBR 8802:2013).....	23
Figura 3 - Modo de transmissão indireto (NBR 8802:2013).....	24
Figura 4 - Determinação da velocidade pelo modo de transmissão indireto (NBR 8802:2013).....	25
Figura 5 - Curva tempo de propagação da onda (t) versus distância (d) para obtenção da velocidade e detecção de fenda.	30
Figura 6 -Recomendações da RILEM para frequência mínima do transdutor emissor de acordo com as dimensões da peça. (RILEM NDT1, 1972 apud in EVANGELISTA, 2002).	35
Figura 7 - Sequência de introdução de imperfeições nas vigotas de concreto (Tipo A e B).....	37
Figura 8 – Croqui Típico para posição Direta.....	45
Figura 9 – Croqui para posição semidireta.....	46
Figura 10 – Posições para medidas indiretas.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Classificação da qualidade do concreto em função do ensaio de VPU (IAEA, 2002 apud in FIGUEIRO, 2005).	29
Tabela 2– Locação das interferências nas vigotas.....	38
Tabela 3- Composição por metro cúbico de concreto	40
Tabela 4 – Leitura VPU do Grupo 01 aos 7 dias.....	49
Tabela 5 – Médias, Desvio Padrão e Variância aos 7 dias para o grupo 01.	50
Tabela 6 - Leitura VPU do Grupo 01 aos 28 dias.	53
Tabela 7– Médias, Desvio Padrão e Variância aos 28 dias para o grupo 01.	54
Tabela 8- Leitura VPU do Grupo 01 aos 56 dias.	56
Tabela 9– Médias, Desvio Padrão e Variância aos 56 dias para o grupo 01.	57
Tabela 10 – Leitura VPU do Grupo 02 aos 07 dias.....	59
Tabela 11 - Médias, Desvio Padrão e Variância aos 07 dias para o grupo 02.	60
Tabela 12 – Leitura VPU do Grupo 02 aos 28 dias.....	62
Tabela 13- Médias, Desvio Padrão e Variância aos 28 dias para o grupo 02.	63
Tabela 14 – Leitura VPU do Grupo 02 aos 56 dias.....	65
Tabela 15 - Médias, Desvio Padrão e Variância aos 56 dias para o grupo 02.	66
Tabela 16 – Leitura VPU do Grupo 03 aos 07 dias.....	68
Tabela 17 - Médias, Desvio Padrão e Variância aos 07 dias para o grupo 03.	69
Tabela 18– Leitura VPU do Grupo 03 aos 28 dias.....	71
Tabela 19 - Médias, Desvio Padrão e Variância aos 28 dias para o grupo 03.	72
Tabela 20– Leitura VPU do Grupo 03 aos 56 dias.....	74
Tabela 21- Médias, Desvio Padrão e Variância aos 56 dias para o grupo 03.	75

LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Concretagem do Lote 01 com introdução das interferências.....	41
Foto 2 – Lote 01 imerso em tanque de cura.	42
Foto 3 – Equipamento de Ultrassom modelo TICO fabricante PROCEC TestingInstruments.	42
Foto 4 – Gabarito para ensaio de ultrassom.	43
Foto 5 – Ensaio de VPU direta.	44
Foto 6 – Ensaio de VPU semidireta.	45
Foto 7 – Ensaio de VPU indireta.	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Correlação da velocidade direta/indireta aos 7 dias para o grupo 01.	51
Gráfico 2– Correlação da velocidade direta/semidireta aos 7 dias para o grupo 01.	51
Gráfico 3– Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 7 dias para o grupo 01.	52
Gráfico 4– Correlação da velocidade direta/indireta aos 28 dias para o grupo 1 para o grupo 01.	54
Gráfico 5 – Correlação da velocidade direta/semidireta aos 28 dias para o grupo 01.	55
Gráfico 6 – Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 28 dias para o grupo 01.	55
Gráfico 7 – Correlação da velocidade direta/indireta aos 56 dias para o grupo 01.	57
Gráfico 8– Correlação da velocidade direta/semidireta aos 56 dias para o grupo 01.	58
Gráfico 9– Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 56 dias para o grupo 01.	58
Gráfico 10– Correlação da velocidade direta/indireta aos 07 dias para o grupo 02.	60
Gráfico 11– Correlação da velocidade direta/semidireta aos 07 dias para o grupo 02.	61
Gráfico 12– Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 07 dias para o grupo 02.	61
Gráfico 13– Correlação da velocidade direta/indireta aos 28 dias para o grupo 02.	63

Gráfico 14– Correlação da velocidade direta/semidireta aos 28 dias para o grupo 02.	64
Gráfico 15– Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 28 dias para o grupo 02.....	64
Gráfico 16– Correlação da velocidade direta/indireta aos 56 dias para o grupo 02.	66
Gráfico 17- Correlação da velocidade direta/semidireta aos 56 dias para o grupo 02.	67
Gráfico 18- Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 56 dias para o grupo 02.....	67
Gráfico 19 - Correlação da velocidade direta/indireta aos 07 dias para o grupo 03.	69
Gráfico 20 - Correlação da velocidade direta/semidireta aos 07 dias para o grupo 03.	70
Gráfico 21 - Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 07 dias para o grupo 03.....	70
Gráfico 22 - Correlação da velocidade direta/indireta aos 28 dias para o grupo 03.	72
Gráfico 23 - Correlação da velocidade direta/semidireta aos 28 dias para o grupo 03.	73
Gráfico 24 - Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 28 dias para o grupo 03.....	73
Gráfico 25 - Correlação da velocidade direta/indireta aos 56 dias para o grupo 03.	75
Gráfico 26- Correlação da velocidade direta/semidireta aos 56 dias para o grupo 03.	76
Gráfico 27- Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 56 dias para o grupo 03.....	76

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	4
FOLHA DE APROVAÇÃO	5
RESUMO	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE FOTOS.....	9
LISTA DE GRÁFICOS	10
1. INTRODUÇÃO	14
1.1.PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2.OBJETIVOS.....	15
1.2.1. Objetivo Geral.....	15
1.2.2. Objetivo Específico	15
1.3.JUSTIFICATIVAS	16
1.3.1. Tecnológicas	16
1.3.2. Econômicas.....	17
1.3.3. Sociais.....	17
1.3.4. Ecológicas	17
1.4.PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	18
1.5.APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1.INTRODUÇÃO AOS ENSAIOS DE PULSO ULTRASSÔNICO NO CONCRETO.....	21
2.2.APLICAÇÕES DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE VPU (VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRASSÔNICA) REALIZADOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	26

2.3.FATORES QUE INFLUENCIAM NAS LEITURAS DE VELOCIDADE DO ENSAIO DE VPU (VELOCIDADE DE PRPAGAÇÃO DA ONDA ULTRASSÔNICA) EM ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	31
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	36
3.1.PROCEDIMENTO PARA A CONCRETAGEM DAS VIGOTAS	39
3.2.PROCEDIMENTO PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE ULTRASSOM.....	42
3.2.1. Medidas diretas.....	44
3.2.2. Medidas semidiretas.....	45
3.2.3. Medidas indiretas	46
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	48
4.1.APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DAS VPU MEDIDAS.	49
4.1.1. Grupo 01	49
4.1.2. Grupo 02	59
4.1.3. Grupo 03	68
4.2.ANÁLISE DOS RESULTADOS	77
4.2.1. Grupo 1	77
4.2.2. Grupo 2	78
4.2.3. Grupo 3	79
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	81
5.1.CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
5.2.RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	82
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho possui como temática principal correlacionar as velocidades dos pulsos ultrassônicos medidos de forma semidireta e indireta com a medida direta, através de um programa experimental desenvolvido para esse fim.

No meio acadêmico-científico várias pesquisas foram realizadas estabelecendo relações entre as velocidades dos pulsos ultrassônicos e a resistência à compressão do concreto quando estas velocidades são medidas de forma direta, porém esta forma de transmissão nem sempre é possível de ser realizada. Nesse caso as medidas de velocidade nas posições semidireta e indireta podem ser utilizadas, porém faz-se necessário que os valores obtidos sejam comparados com parâmetros preexistentes de variação, como por exemplo, em relação à VPU direta.

Para estabelecer essa relação analisou-se 36 (trinta e seis) vigotas, divididas igualmente em 3 (três) lotes, nos quais serão realizados os ensaios de VPU para as 3 (três) tomadas de medida (direta, semidireta e indireta). Seis vigotas de cada lote serão escolhidas para incorporação de prismas de 2cm x 2cm x 5cm e laminas de 5cm x 5cm x 3mm, ambas de poliestireno (isopor), que tem o objetivo de representar imperfeições ocorridas durante o processo de concretagem, a fim de ser analisado o reflexo desta simulação nas velocidades do pulso ultrassônico.

1.1.PROBLEMA DE PESQUISA

Existe a correlação entre as velocidades dos pulsos ultrassônicos medidas de forma indireta e semidireta com a medição direta? Se existe, qual o coeficiente?

1.2.OBJETIVOS

Neste item apresentam-se os objetivos geral e específico da pesquisa a ser desenvolvida.

1.2.1. Objetivo Geral

Correlacionar as velocidades dos pulsos ultrassônicos medidos de forma semidireta e indireta com a medida direta.

1.2.2. Objetivo Específico

Relacionar as velocidades dos pulsos ultrassônicos medidos nas tomadas semidireta e indireta, além de analisar possíveis variações de velocidade do pulso ultrassônico em vigotas com simulação de imperfeições ocorridos no processo de concretagem.

1.3. JUSTIFICATIVAS

Neste item apresentam-se as justificativas para a pesquisa, a saber: tecnológicas, econômicas, sociais e ecológicas.

1.3.1. Tecnológicas

A necessidade cada vez mais intensa de análise das estruturas de concreto visando sua durabilidade tornou-se ocorrente, com isto, surge à necessidade de se encontrar métodos capazes de monitorar e analisar estes elementos de forma simples e segura, sem causar danos ao elemento estrutural.

Neste contexto, métodos não destrutivos baseados em propagação e reflexão de ondas de tensão atendem a estes requisitos, porém o avanço dessa tecnologia encontra-se em um desenvolvimento lento devido à heterogeneidade do concreto, com composição variada e matérias-primas diferentes.

Diversos autores nacionais e internacionais têm publicado trabalhos acerca dos estudos existentes sobre algumas das características físicas do concreto e as correlações dos resultados obtidos com o emprego deste ensaio, existindo pontos comuns e discordantes entre as análises realizadas.

Avanços foram consolidados no que diz respeito à relação entre a resistência do concreto e as velocidades do pulso ultrassônico com transdutores posicionados em faces opostas, porém há muita divergência nos resultados obtidos quando estes mesmos transdutores são posicionados de forma tangencial ou na mesma face do elemento estrutural.

Seguramente os estudos deste trabalho são justificáveis como um fator de acesso a um maior conhecimento acerca do comportamento dos resultados das velocidades dos pulsos ultrassônicos medidos pelo método semidireto e indireto.

1.3.2. Econômicas

Os ensaios de VPU oferecem a oportunidade de fazer um controle total dos elementos que compõem a estrutura, inclusive ao longo do tempo, de forma eficaz e economicamente viável se comparado aos métodos destrutivos comumente utilizados (extração de testemunhos).

Caso o ensaio de VPU utilizando as tomadas de medida indireta e semidireta sejam bem difundidos como as medidas diretas o processo de monitoramento da estrutura tornara-se mais ágil e acessível economicamente.

1.3.3. Sociais

A principal vantagem do método proposto por nossa pesquisa é a rapidez com que pode ser executado, sem interferência nos sistemas operacionais de pontes e pavimentos, que podem continuar a serem utilizadas durante as medições.

1.3.4. Ecológicas

O método é ecologicamente correto por ser não destrutivo, evitando o acúmulo de entulho na realização dos ensaios bem como na execução periódica de monitoramento.

1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A proposta deste projeto de pesquisa é estabelecer a relação entre a velocidade de propagação do pulso ultrassônico medido de forma semidireta e indireta com a medida direta. Para isso, desenvolveu-se uma revisão bibliográfica a fim de explanar todas as particularidades do ensaio de ultrassom no concreto antes de introduzirmos o programa experimental. Para desenvolvimento da pesquisa utilizou-se 36 (trinta e seis) vigotas (10x10x100cm) divididas igualmente em 3(três) lotes. Os lotes apresentam traços de concreto distintos, além disso, em 6 (seis) vigotas de cada um dos lotes foram inseridos prismas e laminas de poliestireno, a fim de simular imperfeições ocorridas na durante o processo de concretagem.

O programa experimental seguirá as seguintes etapas:

- a) Concretar as vigotas e curá-las em câmara úmida por 7 (sete) dias.
- b) Executar os ensaios de ultrassom com tomadas de medida direta, e semidireta e indireta aos 7 (sete), 28 (vinte e oito) e 56 (cinquenta e seis) dias de cura.
- c) Analisar as leituras das velocidades dos pulsos ultrassônicos obtidos, a fim de estabelecer relações entre a VPU obtida na tomada de medida semidireta e indireta com a direta.
- d) Analisar as leituras dos pulsos ultrassônicos encontrados nas tomadas de medida semidireta e indireta.
- e) Analisar se as imperfeições inseridas influenciaram na velocidade de propagação dos pulsos ultrassônicos nas idades de 7 (sete), 28 (vinte e oito) e 56 (cinquenta e seis) dias de cura.

1.5. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Para execução deste trabalho, no primeiro capítulo é apresentado a linha de pesquisa que irá ser abordada, no segundo capítulo segue com a revisão bibliográfica junto as normas aplicáveis, dissertações, teses, monografias e livros editados sobre o assunto. Em seguida, o segundo capítulo trata sobre a metodologia de pesquisa, citando as particularidades de cada lote de amostras desde sua moldagem até a execução dos ensaios de VPU. Por fim, o terceiro discute os métodos para análise dos resultados obtidos nos ensaios.

Segue uma apresentação resumida acerca de cada capítulo:

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delineia as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos a serem adotados.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica e discorre sobre as particularidades que envolvem os ensaios de ultrassom, as técnicas já consagradas pelo corpo acadêmico quando este ensaio é aplicado em meios dispersivos como o concreto, além dos prós e contras da utilização do VPU.

O **Capítulo 3** trata sobre o programa experimental empregado neste trabalho, apresentando a descrição de todo o processo realizado desde a moldagem das vigotas até a metodologia utilizada para execução dos ensaios.

O **Capítulo 4** apresenta a análise dos resultados do programa experimental, descrevendo os procedimentos utilizados para análise das velocidades encontradas nos ensaios VPU.

E por fim, o **Capítulo 5** apresentará as considerações finais acerca da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo tem como objetivo fundamentar tecnicamente o programa experimental, através de normas técnicas, dissertações, teses e monografias que compõem a revisão bibliográfica.

Através da execução de ensaios não destrutivos (END) é possível monitorar o estado do concreto durante toda sua vida, gerando informações muito mais ricas do que as obtidas em ensaios realizados apenas no momento da realização das mesmas. Dentre os ensaios de END que podem ser aplicados em concreto, a velocidade do pulso ultrassônico (VPU) é o ensaio que apresenta grande potencial de uso, pois permite caracterizar o material, avaliar sua integridade e medir outras propriedades físicas importantes. Várias pesquisas vêm demonstrando que o uso da VPU pode colaborar significativamente para detectar alterações no concreto (microfissuras e nichos) antes que sinais visíveis possam se manifestar na estrutura (LORENZI, 2009).

O equipamento usado para realizar este ensaio é de fácil operação e baixo custo. Este método é completamente não destrutivo e pode avaliar o concreto em toda a espessura do elemento estrutural, caso seja feita a transmissão direta (MENEGETTI, 1999).

A NBR 8802:2013 cita como principais aplicações do ensaio de VPU a verificação da homogeneidade do concreto, a detecção de eventuais falhas internas de concretagem, profundidade de fissuras e outras imperfeições e o monitoramento de variações do concreto, ao longo do tempo, decorrentes de agressividades do meio (ataques químicos) principalmente pela ação de sulfatos.

Os subcapítulos apresentados a seguir ajudarão a entender como funciona o ensaio de ultrassom juntamente com os parâmetros técnicos que afetam este ensaio, podendo assim desenvolver estratégias para que possa fazer a utilização efetiva e segura dos resultados.

2.1. INTRODUÇÃO AOS ENSAIOS DE PULSO ULTRASSÔNICO NO CONCRETO

A determinação das propriedades do concreto através de ensaios não destrutivos despertou a atenção dos tecnologistas do concreto por muitas décadas. A Segunda Guerra Mundial acelerou as pesquisas com relação aos testes usando ondas sônicas. Em 1960, métodos de ensaio foram propostos para uso em laboratório, com corpos de prova, através de técnicas vibracionais. Tais métodos foram desenvolvidos por autores como Powers, Obert, Hornibrook e Thomson (NAIK E MALHOTRA, 1991).

Com base nos princípios da propagação de ondas mecânicas, a técnica de emissão de ondas de ultrassom, atualmente, aparece como um dos métodos mais aplicados e promissores, em razão da facilidade de operação e custo relativamente baixo na aquisição e operação do equipamento, quando comparado aos equipamentos utilizados em ensaios destrutivos (STANGERLIN, et al, 2011 apud in LORENZI, 2009).

Mota et al (2008) cita que a VPU propagando em um material como o concreto irá depender de fatores tais como: massa específica, coeficiente de Poisson, módulo de deformação e também a presença ou não de armadura. Através da VPU podem obter-se as seguintes informações aproximadas: módulo de elasticidade dinâmica do concreto, resistência à compressão, localização de vazios, profundidade de fissuras internas e deteriorações existentes (NAIK, 2004). Andreucci (2011) sintetiza dizendo que o ensaio de VPU tem por objetivo a detecção de defeitos ou descontinuidades internas presentes nos mais diferentes tipos e formas de materiais.

Nogueira apud in LORENZI (2009) salienta que em meios como o concreto (dispersivos), o ensaio fornece três parâmetros dignos de análise: a velocidade do pulso ultrassônico, a amplitude e a dispersão dos pulsos. Para Carelli et al (2014) a ultrassonografia baseada na medida da velocidade de pulso

obtida no material pode de fato verificar todas as propriedades do concreto já citadas por Naik, no entanto, além da velocidade de pulso estudos vêm demonstrando que o formato da onda ultrassônica também pode ser utilizado neste tipo de análise.

O método de VPU é baseado na determinação longitudinal das características de propagação de pulso ultrassônico através de um material (LORENZI, 2009). No entanto Andreucci (2011) cita que existem dois tipos de ondas as longitudinais e as transversais. As ondas longitudinais são ondas cujas partículas oscilam na direção de propagação de onda, podendo ser transmitidas a sólidos, líquidos e gases, já uma onda transversal é definida quando as partículas do meio vibram na direção perpendicular ao de propagação.

No que se refere ao equipamento utilizado para a realização dos ensaios VPU em estruturas de concreto Santos (2008) ressalta que este deve possuir frequência entre 20 e 250khz, pois a heterogeneidade do material dissiparia a energia durante a propagação de pulsos com frequências mais elevadas. Assim quanto maior a frequência menor deve ser a distância entre os pontos em estudo.

De forma geral, como se observa na Figura 1, o equipamento conta com um gerador de pulsos, que excita um transdutor piezoelétrico (emissor). Este produz ondas ultrassônicas que são transmitidas, na forma de pulsos, através de materiais sob análise. Ou seja, uma série de pulsos elétricos geradas pelo aparelho é aplicada no transdutor, que converte esta energia em energia mecânica, na forma de ondas com frequência nominal normalmente localizada na faixa de dezenas de quilohertz. Um segundo transdutor piezoelétrico é empregado como receptor. No mesmo, os pulsos de som captados são transformados em impulsos elétricos (ANDRADE, 2007).

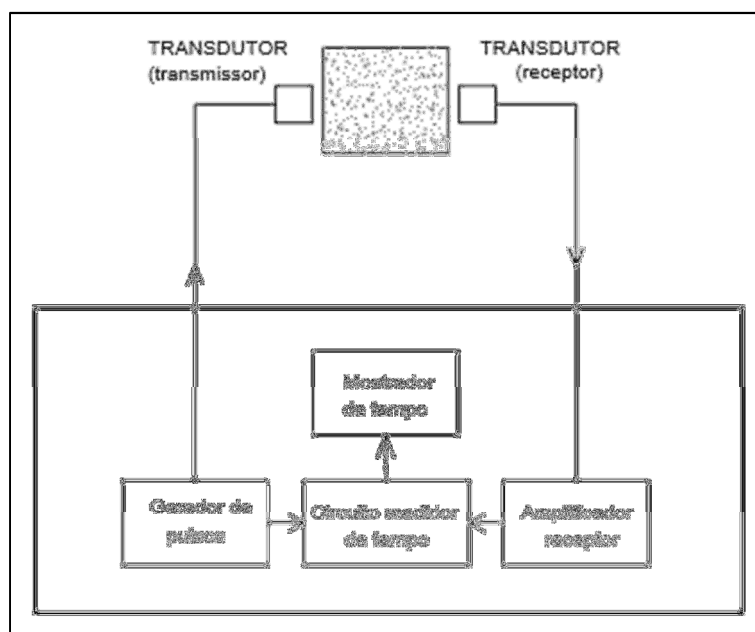


Figura 1 - Esquema de funcionamento do aparelho de ultrassom (NAIK E MALHOTRA, 1991).

A disposição das superfícies disponíveis para o ensaio poderá condicionar a escolha da localização das leituras e a sua precisão, já que condicionará, do mesmo modo, a posição dos transdutores (ANDRADE, 2007).

Lorenzi (2009) cita que a medição dos elementos ou peças em estudo pode ser realizada colocando os transdutores em três posições distintas: faces opostas (transmissão direta), faces adjacentes (transmissão semidireta) e mesma face (transmissão indireta ou superficial), ver Figura 2.

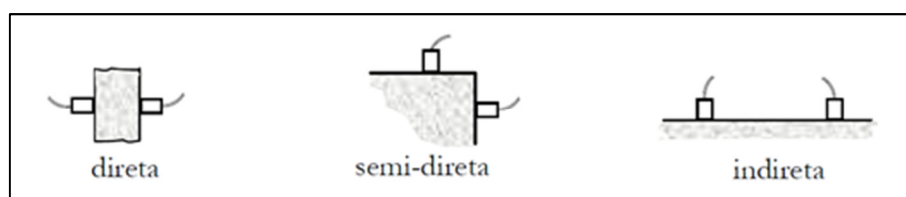


Figura 2 - Ilustração dos tipos de transmissão no ensaio de ultrassom (ABNT NBR 8802:2013).

O modo de transmissão direta é o mais satisfatório, pois é neste modo que a máxima energia é transmitida. Ele é bastante utilizado para correlação com a resistência à compressão, obtenção do módulo de elasticidade dinâmico, porém

necessita de duas faces para detecção de falhas internas e avaliação de qualidade do concreto. O modo de transmissão semidireta é menos utilizado, porém é muito útil quando se pretende evitar regiões de concentração de armaduras como cantos de pilares e vigas. O modo de transmissão indireto é o menos recomendado, pois a intensidade do sinal recebido é significativamente menor do que a recebida no modo direto. Este modo é utilizado quando se tem acesso a apenas uma face do corpo-de-prova ou componente estrutural, como no caso de lajes, pavimentos de concreto ou barragens. O pulso recebido no modo indireto depende da sua dispersão nas descontinuidades do concreto e isto pode gerar erros na obtenção da velocidade de propagação da onda ultrassônica, pois a velocidade depende predominantemente da região superficial do concreto, que pode não ser representativa do elemento como um todo, além do que o comprimento percorrido pelo pulso é incerto (NAIK e MALHOTRA, 1991).

A NBR 8802:2013 descreve um procedimento especial para a obtenção da velocidade de propagação de onda ultrassônica pelo modo de transmissão indireto. Este procedimento consiste em fixar o transdutor-emissor e caminhar o transdutor-receptor pelo concreto por distâncias pré-definidas fazendo leituras sucessivas, conforme mostra a Figura 3.

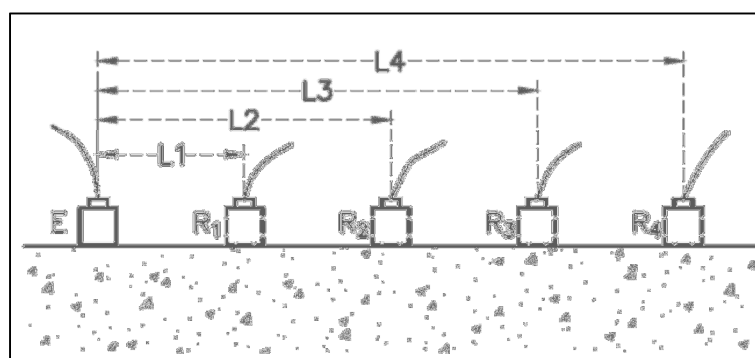


Figura 3 - Modo de transmissão indireto (NBR 8802:2013).

A fim de reduzir a imprecisão deste método de leitura, a NBR 8802:2013 orienta plotar um gráfico de Tempo de Propagação versus Distância,

marcando os pontos para cada distância lida, conforme mostra a Figura 4. A partir destes pontos é traçada uma reta que melhor se ajuste a eles. A inclinação desta reta é a velocidade da onda ultrassônica, pelo modo de transmissão indireto.

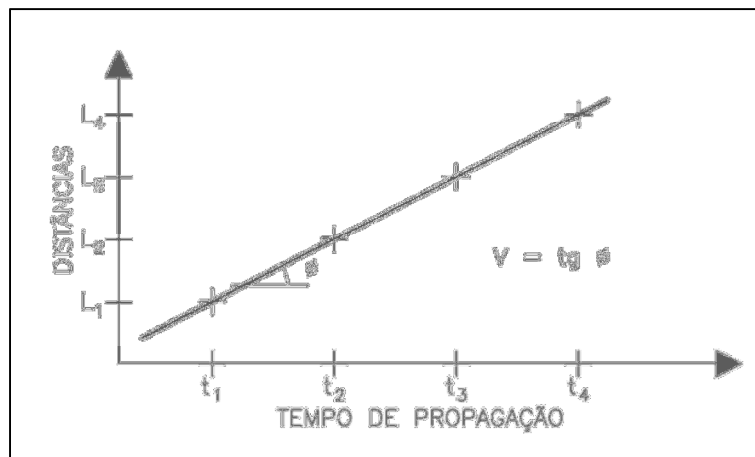


Figura 4 - Determinação da velocidade pelo modo de transmissão indireto (NBR 8802:2013).

A NBR 8802:2013 recomenda o uso da transmissão direta para determinação das velocidades de propagação de onda através de um material, pois neste método as ondas são recebidas com maior intensidade. Câmara (2006) em seu trabalho chega a conclusão que as velocidades obtidas pelo modo de transmissão indireto são menores em relação às velocidades obtidas pelo modo direto, em estudo realizado em laboratório para concretos com resistência característica de 20, 25 e 30 MPa. Já Yaman et al (2001) em sua pesquisa comparam velocidades de propagação de ondas ultrassônicas em lajes, utilizando também a transmissão direta e indireta concluindo que as velocidades obtidas pelos modos são estatisticamente similares, desde que as lajes apresentem propriedades uniformes, incluindo umidade ao longo da superfície e da espessura.

Yaman et al (2001) também fazem recomendações sobre os procedimentos descritos na Figura 3 e Figura 4, para a obtenção de velocidade de propagação de onda ultrassônica pelo modo de transmissão indireto. Quanto ao

número de leituras e distância entre os transdutores, em nota a NBR 8802:2013 indica que é necessário atentar para a correta determinação da distância entre os transdutores. Para obter uma variabilidade menor do que 2% é recomendável que se realize ao menos 4 (quatro) leituras. A primeira leitura deve ter os transdutores afastados entre si na distância equivalente a pelo menos duas vezes o comprimento de onda " λ " e as leituras sucessivas devem ter a distância aumentada em uma vez o comprimento de onda " λ ". Já a NBR 8802:2013 somente recomenda que os pontos de leitura devem estar equidistantes entre si e sobre uma mesma reta enquanto o transdutor emissor permanece fixo em um ponto.

2.2. APLICAÇÕES DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE VPU (VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRASSÔNICA) REALIZADOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Segundo a NBR 8802:2013, controlando o tempo decorrido entre emissão e recepção, e descontando o tempo decorrido no percurso através dos fios e transformadores, pode-se calcular o tempo gasto para a propagação do VPU no interior do material. A velocidade de propagação (V) pode ser entendida como a relação entre a distância percorrida pela onda de vibração (L) durante um intervalo de tempo, conforme equação 1.

(1)

$$V = \frac{L}{t}$$

Onde:

V = velocidade de propagação da onda em m/s

L = distância entre dois pontos em m

t = tempo de propagação da onda em μs

Desde o início do estudo da propagação a onda ultrassônica constatou-se que a velocidade dependia somente da propriedade elástica do material e não da geometria da peça (LORENZI, 2009). De acordo com Levy (2001), o conhecimento do módulo de elasticidade permite entender o comportamento da estrutura, calcular as flechas máximas admissíveis, ou seja, as flechas que não provocam fissuras além de determinados limites. Quando estes limites são ultrapassados, a armadura é despassivada rapidamente devido a presença de agentes agressivos encontrados no meio ambiente e que ingressam ao interior através das fissuras. O módulo de elasticidade dinâmico pode ser determinado conforme a equação 2.

(2)

$$Ed = \rho \cdot V^2 \cdot \frac{(1 + \nu d) \cdot (1 - 2\nu d)}{(1 - \nu d)}$$

Onde:

V = velocidade da onda ultrassônica (m/s)

Ed = módulo de elasticidade dinâmico (Mpa)

ρ = massa específica (kg/m^3)

νd = coeficiente de Poisson dinâmico

O valor de vd está entre 0,22 e 0,28. Assim conhecendo os valores de vd e ρ com o V (obtido no ensaio de VPU) é possível determinar o E_d (LEVY, 2001).

Para Bungey e Millard (2006) pode-se ter um coeficiente de variação de 2,5% na determinação da velocidade, também é possível estabelecer uma relação entre a velocidade de ultrassom e o módulo de elasticidade dinâmico com um erro de aproximadamente 10%. O conhecimento do módulo de deformação dinâmico é importante, pois está ligado a cargas de impacto, como é o caso das pontes e pode ser determinado com mais exatidão pelo ensaio de ultrassom (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Cánovas (1988) menciona que através do módulo de elasticidade dinâmico é possível calcular a resistência do concreto para concretos normais com módulo de deformação compreendidos entre 20 e 47GPa. Para determinação da resistência característica do concreto de uma estrutura usa-se a equação 3.

(3)

$$f_c = 3,5 \cdot 10^{-9} \cdot E_d^2 - 10^{-3} \cdot E_d + 200$$

Onde:

f_c = resistência característica do concreto (Kgf/cm²)

E_d = módulo de elasticidade dinâmico (Kgf/cm²)

Para Kombos, et al (1996) a aplicação mais comum da VPU no concreto é para avaliação de sua resistência, porém esta aplicação necessita da utilização de curvas de calibração para o concreto específico.

Já para Phoon et al (1999), não há uma correlação única para a relação entre a velocidade da onda e a resistência devido a influência de vários fatores como as propriedades e proporções dos materiais que compõem o concreto, idade e teor de umidade. Propovics (2001) reforça a idéia afirmando que não há uma

relação teórica entre resistências e velocidade de propagação nem mesmo para materiais homogêneos e linearmente elásticos.

Neville (1997), apesar de ressaltar as dificuldades em estimar a resistência a partir do ensaio de VPU, considera que é possível e útil estabelecer uma relação entre as propriedades medidas no ensaio de ultrassom e a resistência do concreto.

ACI 228, 1989 apud in EVANGELISTA (2002) cita que as curvas de correlação entre velocidade da onda e resistência do concreto obtidas nas idades iniciais (3dias) não se aplicam para as idades mais avançadas (28 dias, 91 dias). Para uma dada composição de concreto, quando a resistência a compressão aumenta com a idade, há um pequeno aumento da velocidade, porém não na mesma proporção. Desta forma, ao atingir-se uma determinada idade, a velocidade não é mais sensível ao aumento da resistência.

Figueiro(2005) cita que em 1966, Ehiturst, no artigo “EVALUATION OF CONCRETE PROPERTIES FROM SONIC TEST”, classificou a qualidade do concreto segundo o valor da velocidade ultrassônica medida com transdutores em faces opostas da estrutura. Embora específica para os concretos produzidos na época a Tabela 1, se popularizou e foi adotada por várias publicações como referência para análise de resultados de ultrassom.

VPU	Qualidade do Concreto
>4500	Excelente
3500<VPU<4500	Ótimo/Bom
3000<VPU<3500	Bom/Duvidoso
2000<VPU<3000	Regular
VPU<2000	Ruim

Tabela 1-Classificação da qualidade do concreto em função do ensaio de VPU (IAEA, 2002 apud in FIGUEIRO, 2005).

Segundo autores como BS 1881: Part 203, 1986; Bungey, 1989 e Rilem, NDT1, 1972; o ultrassom também pode ser utilizado para estimar a profundidade de fissuras já existentes e a localização das que ainda não se tornaram visíveis a olho nu, através de leituras obtidas pelo modo de transmissão indireto. Para a detecção da presença de falhas no concreto, utilizando o modo de propagação indireto desenha-se o gráfico relacionando o tempo de propagação da onda com a distância entre os transdutores. Popovics et al (2000), utilizando transmissão de ondas de superfície, conseguiram detectar e estimar com precisão profundidades de aberturas até 100mm.

Para a detecção da presença de falhas no concreto utilizando o modo de propagação indireto, desenha-se o gráfico relacionando o tempo de propagação da onda com a distância entre os transdutores. Se houverem pontos muito afastados da reta, pode existir uma fissura no concreto como pode observado na Figura 05.

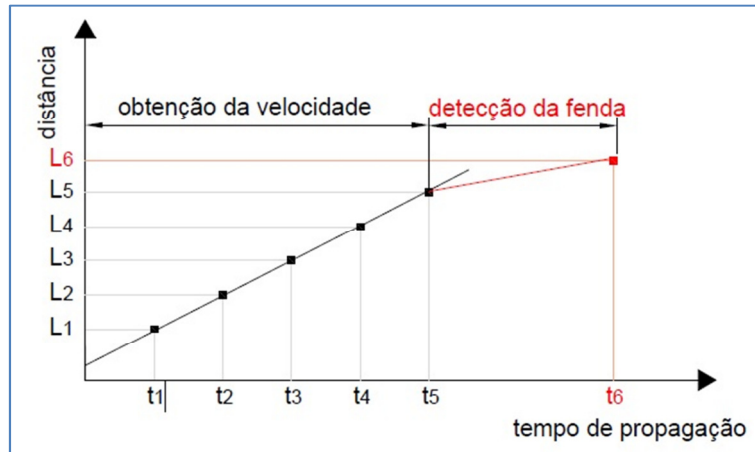


Figura 5 - Curva tempo de propagação da onda (t) versus distância (d) para obtenção da velocidade e detecção da fenda.

Há diversos modelos matemáticos na literatura que auxiliam a estimar a profundidade como, por exemplo, o proposto por Bungey (1989), pela BS 1881: Part 203 (1986), por Pinto, Medeiros e Padaratz (2007) entre outros.

Lorenzi (2009), afirma que a utilização do VPU está cada vez mais difundida na Engenharia Civil. O mesmo tem sido utilizado em operações de vistoria e monitoramento de estruturas de concreto, pois permitem que se meçam e controlem uma série de parâmetros fundamentais para determinar a qualidade do concreto, tanto em laboratório quanto em ensaios de campo.

2.3. FATORES QUE INFLUENCIAM NAS LEITURAS DE VELOCIDADE DO ENSAIO DE VPU (VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DA ONDA ULTRASSÔNICA) EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Segundo Phoon et al (1999), a estimativa da resistência pode ser influenciada por diversos fatores tais como o tipo de agregado, a relação agregado/cimento, a idade do concreto, dimensão e graduação dos agregados e condições de cura.

A NBR 8802:2013 no Anexo C cita como os principais fatores que influenciam nos resultados a distância entre as superfícies de contato dos transdutores, a presença de armadura, principalmente no sentido de propagação da onda, densidade do concreto, que depende do traço e das condições de concretagem, densidade e outras características dos agregados, o tipo de cimento, o grau de hidratação, a direção de ensaio da peça, o tipo de adensamento do concreto e a idade do concreto.

As velocidades ultrassônicas medidas no concreto podem variar em função das características do agregado, segundo Kaplan apud Hamassaki (1986). Como o agregado graúdo constitui a grande parte do concreto, a velocidade de propagação através dele influencia muito no resultado final da velocidade de propagação através do concreto. Deere e Miller apud Sturup et al (1984) estabeleceram a faixa de velocidade de diferentes tipos de rocha, onde o

concreto elaborado com agregado de maior dimensão apresentou velocidades de pulso menores.

Chung e Law (1983) em sua pesquisa citam que, em geral, os agregados graúdos e miúdos têm módulo de elasticidade e velocidades de propagação da onda maiores do que o da pasta de cimento. Assim, o concreto com agregados de massas específicas maiores ou com maiores quantidades de agregado apresentam maior velocidade.

Tomsett (1980) compara concretos feitos com agregados de $D_{máx}$ de 20mm e com $D_{máx}$ de 10mm e verificou que para uma determinada resistência à compressão a velocidade é menor no concreto com menor $D_{máx}$. Nogueira e Willam (2001) analisaram cinco composições: concreto com agregado de $D_{máx}$ de 12,5 mm, concreto com agregado de $D_{máx}$ de 9,5mm, concreto com agregado de $D_{máx}$ de 4,75mm, argamassa e pasta de cimento. Manteve-se constante a relação água/cimento de 0,55 para os concretos e de 0,50 para argamassa e a pasta de cimento. O maior valor de velocidade de propagação da onda foi obtido para o concreto com agregado de $D_{máx}$ de 12,5 mm, enquanto que a maior resistência à compressão foi do concreto com agregado $D_{máx}$ de 9,5mm, e explicou-se que esta diferença provavelmente está relacionada à distribuição granulométrica da composição, já que não foi alterada a relação água/cimento.

Chung e Law (1983) citam que o tempo de trânsito dos pulsos no concreto é igual à soma dos tempos de trânsito no agregado graúdo, no agregado miúdo e na pasta de cimento. Nogueira e Willam (2001) relatam que a relação água/cimento não influencia significativamente a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, pois esta se relaciona principalmente com as propriedades elásticas (módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e massa específica) do concreto e não com a sua resistência. Elvery e Ibrahim (1976) em sua pesquisa ao analisar a influência da relação água/cimento também concluíram que a correlação entre f_c e V independe da variação da relação água/cimento.

Para investigar a influência do tipo de cimento, Elvery e Ibrahim (1976) realizaram ensaios utilizando cimento Portland comum (ASTM tipo I), cimento de alta resistência inicial (ASTM tipo III) e cimento aluminoso, mantendo-se constantes as relações agregado/cimento e água/cimento. Para o ensaio de ultrassom, os autores verificaram que, durante os 2 primeiros dias, houve uma diferença maior entre as curvas feitas para cada tipo de cimento do que nas idades de 7 dias, 14 dias e 28 dias. As correlações entre f_c e V para os dois tipos de cimento Portland foram idênticas, porém diferentes da para o cimento aluminoso.

Já Sturup et al (1984) utilizaram cimento ASTM tipo I (cimento Portland comum) e ASTM tipo III (cimento Portland de alta resistência inicial) em concretos ensaiados nas idades de 12 horas a 91 dias. Eles constataram que valores para velocidade de propagação de ondas ultrassônicas entre 3,5 e 4,5 km/s representaram menor resistência para concreto com cimento Portland comum do que para o concreto com cimento Portland de alta resistência inicial, sendo neles empregada a mesma quantidade de cimento (360 kg/m^3), porém com relações água/cimento e agregado/cimento variáveis. No ensaio de ultrassom a diferença entre os concretos com cimento Portland comum e de alta resistência inicial não se mostrou significativa.

Sturup et al (1984) complementa com seu estudo afirmando que para uma dada velocidade de pulso, a resistência diminui com a redução da relação água-cimento. Tanto a literatura quanto no estudo de Elvery e Ibrahim (1976) confirmaram essas variações, devido principalmente pelo fato de que o agregado possui módulo de elasticidade maior do que o da matriz. Evangelista (2002) descreve ainda que quanto maior a relação água/cimento, menor a velocidade de propagação dos pulsos de ultrassom.

A influência da temperatura na ocasião da preparação do concreto foi investigada por Abbasi e Al-Tayyib (1996). Para a série de ensaios onde a temperatura variou de 32°C a 50°C verificou-se que a velocidade diminuiu com o

aumento da temperatura no concreto. Meneghetti (1999) realizando ensaios nas idades de 12 h, 16 h, 24 h e 3 dias em concretos mantidos com temperaturas de 25°C, 35°C e 45°C, verificou que os submetidos a 45°C apresentaram velocidades menores do que os conservados a 25°C e 35°C. Já os estudos realizados por Elvery e Ibrahim (1976), chegaram à conclusão de que só as temperaturas extremas afetam a velocidade dos pulsos, devido principalmente a possíveis microfissuras causadas no concreto pela perda de água em altas temperaturas ou pelos efeitos da água congelada e temperaturas muito baixas.

O teor de umidade do concreto tem uma pequena influência na velocidade de propagação de ondas ultrassônicas, segundo Chung e Law (1983), em ensaios em laboratório num concreto na condição saturada resultaram numa velocidade cerca de 2% maior do que no concreto na condição seca. Também segundo Popovics (2001), há um aumento da velocidade em concretos com maior umidade. Ele ressalta, no entanto, que o oposto ocorre com a resistência à compressão.

A RILEM NDT1, 1972 apud in EVANGELISTA (2002) recomenda um comprimento mínimo para propagação das ondas a fim de evitar que os transdutores fiquem muito próximos, pois neste último caso os resultados seriam significativamente influenciados pela heterogeneidade do concreto:

- 100 mm para o concreto com agregado de dimensão máxima menor que 30 mm;
- 150 mm para o concreto com agregado de dimensão máxima menor que 45 mm.

De acordo com a RILEM NDT1(1972) apud in EVANGELISTA (2002) ondas com frequências mais elevadas são atenuadas mais rapidamente do que as de frequências mais baixas. Segundo esta mesma norma, dependendo das dimensões da peça analisada, a frequência mínima dos transdutores usados deve ser a dada na Figura 06.

Comprimento (mm)	Frequência (kHz)	Dimensão transversal mínima de elemento (mm)
100-700	≥ 60	70
200 - 1500	≥ 40	150
>1500	≥ 20	300

Figura 6 - Recomendações da RILEM para frequência mínima do transdutor emissor de acordo com as dimensões da peça. (RILEM NDT1, 1972 apud in EVANGELISTA, 2002).

De acordo com as normas técnicas internacionais, a superfície do concreto deve ser lisa para garantir o perfeito acoplamento dos transdutores ao mesmo. Também se devem evitar as superfícies que receberam acabamento, pois o concreto nesta superfície pode não ser representativo daquele do restante da peça. Para o caso de superfícies curvas, há alternativa de usar transdutores com contato pontual; no entanto, o nível de energia destes é menor, e ainda existem restrições quanto à distância entre os transdutores (Chung e Law, 1983).

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos realizados para a moldagem das vigotas utilizadas para a realização dos ensaios de VPU, bem como suas particularidades. Além disso, apresenta a metodologia utilizada para a realização dos ensaios de ultrassom com tomadas de medidas diretas, semidiretas e indiretas.

Todas as vigotas fabricadas para este programa experimental são prismáticas com dimensões de 10x10x100cm. Com o comprimento de 1,00m conseguimos ter de quatro a cinco leituras no ensaio de VPU aumentando o número de dados para a análise, além do que nas tomadas de medida indireta é recomendável pela literatura que se realize ao menos 4 (quatro) leituras. Com uma seção transversal de 10 x 10 cm evita-se que os transdutores fiquem muito próximos para as tomadas de medida direta e semidireta garantindo um comprimento mínimo para a propagação da onda.

Para a pesquisa utilizou-se vigotas divididas igualmente em 3 (três) lotes de concretagem. As características dos lotes foram variadas, para que se pudessem verificar certas alterações na constituição do concreto que poderiam impactar nas velocidades de propagação das ondas ultrassônicas. As variações estudadas incluíram:

- Traço do concreto (1:2,88:2,94:0,74), (1:2,71:3,08:0,71), (1:2,43:2,71:0,52);
- Relação água cimento (0,74; 0,71; 0,52);
- Tamanho do agregado graúdo (Brita 0 e1);
- Idade para realização dos ensaios (7, 28 e 56 dias);
- Presença de corpos estranhos no interior do concreto;

Todos estes fatores foram escolhidos porque refletem na densidade e na estrutura dos poros do concreto resultante, o que repercute teoricamente nos resultados de leituras da VPU. A ideia é compreender como as leituras variam e

ter dados mínimos para verificar as correlações entre as diferentes tomadas de medida das velocidades da onda ultrassônica.

O traço do concreto foi escolhido como variante por expressar a proporção entre cimento e agregado, fato que reflete na definição da estrutura de poros e compacidade do material e a relação a/c (água-cimento), sendo um parâmetro de dosagem e que tem influência direta na sua resistência.

A variação do tamanho do agregado visa obter elementos com diferença de compacidade e massa específica.

Já a idade de ensaio tem o intuito de comprovar se a sua importância relativa reduz na medida em que avança a hidratação.

Em 18 (dezoito) das 36 (trinta e seis) vigotas estudadas foram realizadas simulações de imperfeições ocorridas durante o processo de concretagem, através da inserção de prismas de isopor de 2cmx2cmx5cm (Tipo A) e 3mmx2cmx5cm (Tipo B) com o intuito de avaliar seu efeito na variação da VPU nas diferentes idades.

A Figura 7 apresenta uma vista das amostras com o posicionamento das imperfeições induzidas.

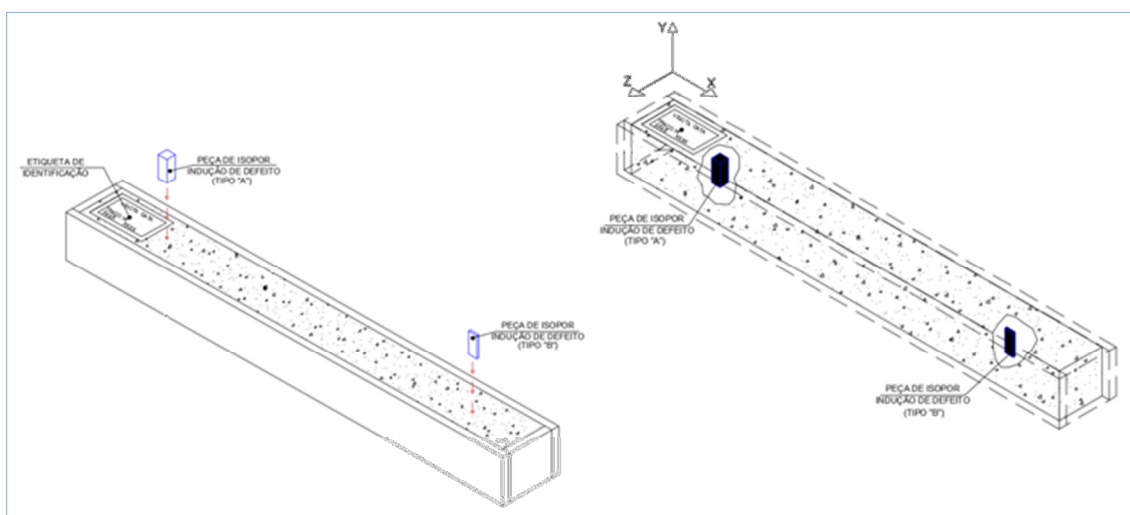


Figura 7 - Sequência de introdução de imperfeições nas vigotas de concreto (Tipo A e B).

A locação das falhas Tipo A e B nas vigotas podem ser visualizadas na

Tabela 2. Para o registro das posições dos prismas inseridos nas vigotas, foi criado sistema de coordenadas (X,Y,Z), tomando como referência (0,0,0) o vértice esquerdo inferior da face (10 cm x 10 cm) da lateral próxima a etiqueta de identificação.

Lotes	Vigota nº	Defeito Tipo "A"			Defeito Tipo "B"		
		Coord. X	Coord. Y	Coord. Z	Coord. X	Coord. Y	Coord. Z
01	7	11,00	7,50	4,00	-13,50	7,50	5,00
	8	-12,00	5,50	3,00	19,00	6,00	4,00
	9	-10,00	7,00	5,50	11,50	6,00	5,00
	10	11,00	7,00	5,50	-9,50	7,00	5,00
	11	-9,50	6,50	5,00	9,50	6,00	4,00
	12	9,00	6,50	5,00	-10,00	6,50	5,00
02	19	8,00	5,00	6,00	-9,50	5,00	5,00
	20	11,50	9,00	6,00	-9,00	9,00	5,00
	21	13,00	9,00	6,00	-13,00	9,00	5,00
	22	15,00	8,00	5,00	-11,00	9,00	5,00
	23	11,00	8,00	5,00	-10,50	9,00	5,00
	24	13,00	6,50	6,00	-12,00	6,50	5,00
03	31	10,00	7,50	5,00	-10,00	5,00	5,00
	32	10,00	7,00	5,00	-10,00	9,00	5,00
	33	10,00	7,00	5,00	-10,00	7,00	5,00
	34	10,00	7,50	5,00	-10,00	5,00	5,00
	35	10,00	7,00	5,00	-10,00	9,00	5,00
	36	10,00	7,00	5,00	-10,00	7,00	5,00

Tabela 2– Locação das interferências nas vigotas.

O sinal negativo significa que a coordenada X tem origem a partir da face oposta à etiqueta de identificação.

A fim de garantir a qualidade do concreto foi realizado o ensaio de abatimento (Slump Test) e molda dos corpos de provas cilíndricos para realização de ensaios de compressão axial.

No subcapítulo 3.1. (Procedimentos para a concretagem das vigotas) é detalhado a concretagem dos elementos prismáticos bem como os procedimentos de cura realizados.

Já o capítulo 3.2. (Procedimento para realização dos ensaios de ultrassom) aborda detalhes sobre o ensaio de ultrassom realizado em cada uma das vigotas pelas tomadas de medida de velocidade direta, semidireta e indireta.

3.1. PROCEDIMENTO PARA A CONCRETAGEM DAS VIGOTAS

Todo o procedimento de concretagem e cura das vigotas foram realizados utilizando a infraestrutura da concreteira TOPMIX em São José dos Campos – SP.

Foram empregadas formas feitas de compensado plastificado, calafetados com silicone na lateral e na base, sendo a estanqueidade previamente testada ao colocar água até o transbordamento, verificando se a forma era capaz de manter o volume de 0,01m³ de água no decorrer do tempo.

Uma fina camada de óleo foi aplicada nas formas e o excesso removido com auxílio de uma estopa seca. A ausência de depósitos de óleo ou água no fundo visava garantir uma vigota com a superfície íntegra de canto vivo e sem estar friável, ou seja, com a pasta enfraquecida por retardo de pega ou presença inconveniente de água.

O concreto das vigotas de 10x10x100cm foi produzido utilizando cimento CP III 40 RS, agregado graúdo (brita 0 ou 1), agregado miúdo (natural e/ou artificial), aditivo plastificante e água. As 36 (trinta e seis) vigotas foram divididas igualmente em 3 (três) lotes, onde cada um destes lotes se diferenciou pela dosagem dos materiais utilizados para fabricação do concreto, como pode ser visto na

Tabela 3. A resistência característica a compressão (f_{ck}) obtida no lote 01 é de 30 Mpa e no lote 02 e 03 é de 25 Mpa.

Materiais		Unidade	Traço		
			Lote 01	Lote 02	Lote 03
Cimento	CP III 40 RS	Kg	324	307	363
Areia	Natural	Kg	932	617	881
	Artificial	kg	-	214	-
Brita	0	kg	-	946	-
	1	kg	953	-	982
Água	Rede Pública	L	204	218	188
Aditivo	Plastificante	kg	2,105	1,997	1,79

Tabela 3- Composição por metro cúbico de concreto

Os lotes foram concretados em dias distintos devido à logística de fabricação do concreto fornecido e a reutilização das formas de madeirite plastificado.

As formas foram posicionadas em superfície regularizada com berço de areia e protegida do intemperismo. Foram feitas 13 (treze) formas, sendo que 12 (doze) delas seriam utilizadas para concretagem das vigotas e 1(uma) para gabarito durante a realização dos ensaios. Esta forma sobressalente (antes de ser feita as furações de 51,0 mm de diâmetro) serviu para execução de testes de moldagem com utilização de concretos dosados com brita 0 ou 1. Com o experimento estabeleceu que o adensamento das 12 (doze) vigotas fossem realizados executando-se 120 golpes com haste metálica de 16 mm de diâmetro, em camada única de 10 cm de altura. A quantidade de golpes foi estabelecida pelo tempo de 1 minuto, perfazendo o máximo de 15 minutos totais para execução do adensamento das 12 (doze) vigotas.

O adensamento do concreto foi realizado com haste metálica, com o objetivo de obter peças mais homogêneas e com menor índice de vazios, e

somente após o adensamento do concreto é que foram inseridas as interferências de isopor, como pode ser visto na Foto 1.



Foto 1 – Concretagem do Lote 01 com introdução das interferências.

Foi realizado o ensaio de abatimento do concreto (Slump Test) durante a moldagem onde obtivemos os seguintes resultados:

- Lote 01 – Slump 140 ± 12 ;
- Lote 02 – Slump 120 ± 20 ; e
- Lote 03 – Slump 100 ± 20

Já concretadas, as vigotas permaneceram no mesmo local protegidas com lonas plásticas. Passadas as primeiras 24 horas realizou-se a desforma das vigotas que em seguida foram transportadas e inseridas no tanque de cura, onde permaneceram por sete dias, ver Foto 2.

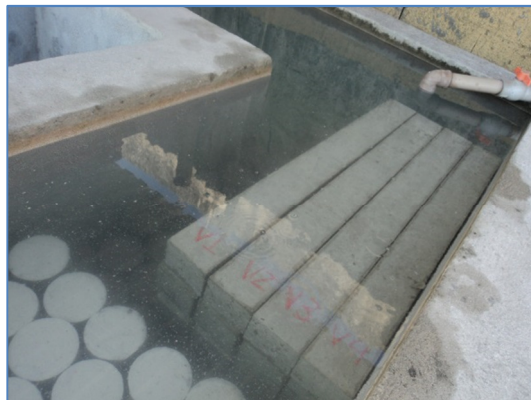


Foto 2 – Lote 01 imerso em tanque de cura.

Após o período de sete dias, as vigotas foram transportadas até o ETCM em São José dos Campos – SP (PETROBRAS – REVAP) onde foi fornecida toda a infraestrutura e equipamentos para realização dos ensaios de ultrassom.

3.2. PROCEDIMENTO PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE ULTRASSOM

O equipamento de ultrassom utilizado no trabalho foi o modelo TICO fabricante PROCEC Testing Instruments, de acordo com a Foto 3. Este equipamento pertence ao laboratório de concreto do Sequi-ETCM, locado em São José dos Campos - SP.



Foto 3 – Equipamento de Ultrassom modelo TICO fabricante PROCEC Testing Instruments.

O equipamento funciona com um par de transdutores, sendo um emissor e outro receptor, conectados por cabo coaxial ao aparelho de Ultrassom. O par de transdutores utilizado no programa experimental possui diâmetro de 50 mm com frequência de 50 KHz, ou seja, emitem 50 mil pulsos por segundo. O modelo TICO apresenta leitura única pelo mostrador digital, apresentando velocidade em metros por segundo (m/s), tempo em microssegundos (μ s) e distância em metros (m).

Para a realização dos ensaios de velocidade de propagação do pulso sônico contamos com o auxílio de um gabarito com furação com diâmetro de 51 mm e com espaçamento equidistante de 20 como mostra a Foto 4.



Foto 4 – Gabarito para ensaio de ultrassom.

O equipamento utilizado (PROCEC – TICO) foi calibrado com utilização de barra de referência, conforme especificação do fabricante. A calibração era feita sempre antes do início dos ensaios. Foi utilizado vaselina industrial como acoplante, tanto na calibração como nos ensaios nas vigotas.

O procedimento de leitura foi executado conforme item 6.1.4 (Acoplamento do transdutor sobre o concreto) da norma EN 12504-4: 2004 (E). Foram realizadas duas leituras por ponto, observando o mostrador digital e anotando o menor valor apresentado, os valores anotados para as medidas diretas e semidiretas foram a velocidade do pulso ultrassônico em metros por segundo

(m/s), já os valores anotados para as medidas indiretas foram o tempo em microssegundos (μ s), estes posteriormente foram plotados em gráficos.

Não foram feitas leituras nos locais pontuais nas imperfeições inseridas com isopor, pois o objetivo principal da pesquisa é correlacionar as velocidades entre as três posições estudadas para o concreto com e sem defeito. Dessa forma entendemos que não seria necessária a identificação da variação de velocidade nestes pontos específicos e sim se poderíamos identificar variações tomando as medidas de acordo com as distâncias estabelecidas no gabarito (a cada 20 cm).

3.2.1. Medidas diretas

Para obtenção das velocidades de propagação de onda ultrassônica na posição direta, foram seguidas as recomendações descritas pela NBR 8802 (2013) e da norma EN 12504-4: 2004 (E) ver Foto 5 e Figura 8. As leituras registradas no programa experimental para as posições diretas foi o menor valor entre as velocidades registradas no ponto em uma série de repetição de duas leituras. Este procedimento foi adotado para todas as posições e em todos os pontos analisados de todas as 36 (trinta e seis) vigotas.



Foto 5 – Ensaio de VPU direta.

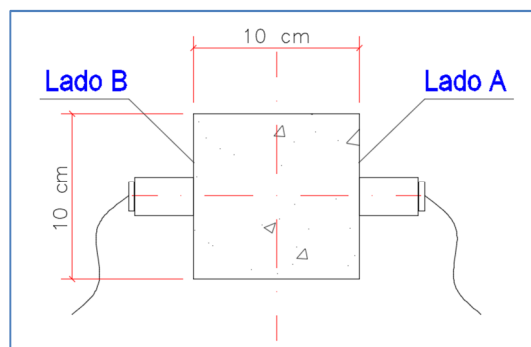


Figura 8 – Croqui Típico para posição Direta

3.2.2. Medidas semidiretas

Para obtenção das velocidades de propagação de onda ultrassônica na posição semidireta, foram seguidas as recomendações descritas pela NBR 8802 (2013) e da norma EN 12504-4: 2004 (E). A Foto 6 mostra como foi realizado o ensaio nas vigotas utilizando o gabarito.



Foto 6 – Ensaio de VPU semidireta.

Foi imputada a distancia de 0,071 m no equipamento PROCEC – TICO durante as leituras, devido ao limite de precisão do equipamento, porém a

medida real considerada no programa experimental foi de 0,0707 m, sendo esta corrigida através de planilha em software Excel durante análise dos resultados, ver Figura 9.

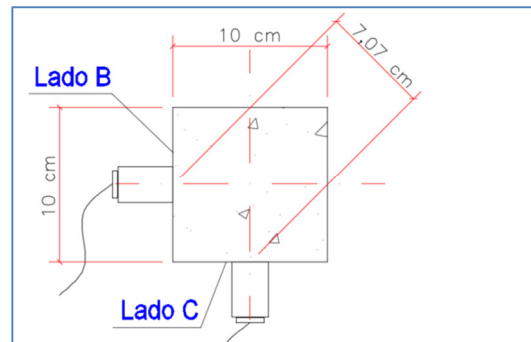


Figura 9 – Croqui para posição semidireta.

3.2.3. Medidas indiretas

Para obtenção das velocidades de propagação de onda ultrassônica, foram realizadas leituras de acordo com o procedimento recomendado pela NBR 8802 (2013) descrito no item 2.3 e da norma EN 12504-4: 2004 (E). Foi mantido o transdutor emissor fixo no ponto 01 e o transdutor receptor foi deslocado fazendo-se leituras sucessivas, com distancia entre eixos dos transdutores conhecidas (L1, L2, L3 e L4), conforme Figura 10 e Foto 7. A velocidade indireta é obtida, do gráfico Tempo de Propagação *versus* Distância, pelo coeficiente angular da reta que melhor se ajusta aos pontos.

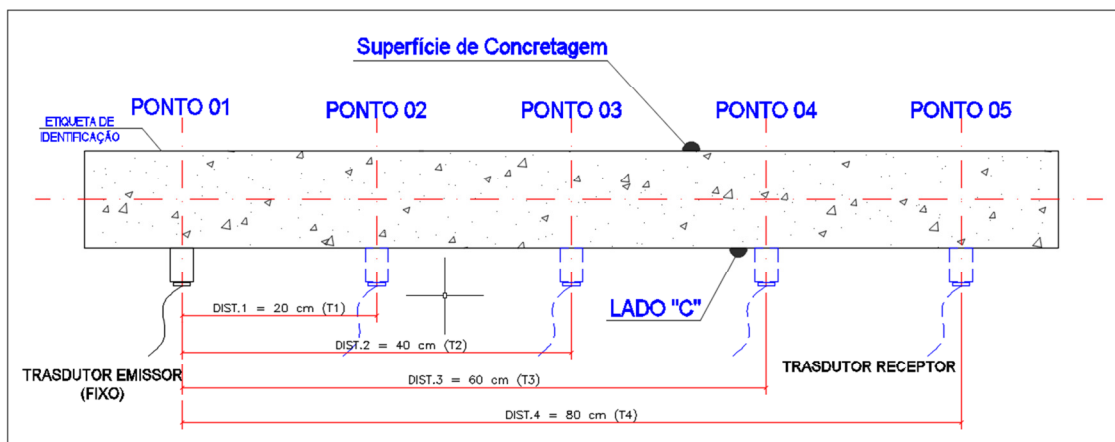


Figura 10 – Posições para medidas indiretas.



Foto 7 – Ensaio de VPU indireta.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O presente capítulo apresenta os resultados das leituras das velocidades ultrassônicas dos três lotes de corpos prismáticos de concreto, nas idades de 07, 28 e 56 dias e uma análise das correlações destas velocidades nas posições semidireta e indireta com a posição direta.

A análise dos resultados primeiramente mostrará através de tabela os valores das velocidades obtidos com a realização do ensaio VPU para cada lote. Em seguida uma tabela indicará os resultados das médias simples por vigota, do desvio padrão geral do lote juntamente com o coeficiente de variância encontrado. Finalmente, uma tabela indicará as correlações das velocidades obtidas na pesquisa. Serão apresentados também gráficos de dispersão das velocidades e o coeficiente de correlação encontrado.

4.1. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DAS VPU MEDIDAS

4.1.1. Grupo 01

	IDADE DO ENSAIO:	7 dias	INDIRETA - LADO B			SEMIDIRET A - LADOS B/C			VUP Direta (m/s)	
	Grupo nº 1	Distancia (cm)	VUP Indireta (m/s)	Tempo (µs)	Distancia (cm)	VUP Semidiret a (m/s)	Tempo (µs)	Distancia (cm)		
	VIGOTA nº IDADE:								Lado A/B	Largura (cm)
VIGOTA 1	Ponto 01	--	--	--	--	5390	13,1	7,07	4330	10
	Ponto 02	20	4295	49,3	20	5390	13,1	7,07	4330	10
	Ponto 03	40	4082	103,2	40	5270	13,4	7,07	4240	10
	Ponto 04	60	4181	151,5	60	5390	13,1	7,07	4170	10
	Ponto 05	80	4242	199,4	80	5390	13,1	7,07	4240	10
VIGOTA 2	Ponto 01	--	--	--	--	5390	13,1	7,07	4510	10
	Ponto 02	20	4209	50,2	20	5390	13,1	7,07	4510	10
	Ponto 03	40	4209	100,4	40	5270	13,4	7,07	4390	10
	Ponto 04	60	4191	151,2	60	5390	13,1	7,07	4370	10
	Ponto 05	80	4240	199,5	80	5390	13,1	7,07	4410	10
VIGOTA 3	Ponto 01	--	--	--	--	5390	13,1	7,07	4310	10
	Ponto 02	20	4621	46,2	20	5390	13,1	7,07	4370	10
	Ponto 03	40	3993	105,3	40	5120	13,8	7,07	4310	10
	Ponto 04	60	4191	151,2	60	5390	13,1	7,07	4330	10
	Ponto 05	80	3300	251,0	80	4970	14,2	7,07	4460	10
VIGOTA 4	Ponto 01	--	--	--	--	5390	13,1	7,07	4930	10
	Ponto 02	20	4118	51,2	20	5190	13,6	7,07	4350	10
	Ponto 03	40	3308	125,2	40	5080	13,9	7,07	4310	10
	Ponto 04	60	4154	152,4	60	5390	13,1	7,07	4430	10
	Ponto 05	80	3314	250,0	80	5390	13,1	7,07	4570	10
VIGOTA 5	Ponto 01	--	--	--	--	5390	13,1	7,07	4390	10
	Ponto 02	20	4145	50,9	20	5040	14,0	7,07	4370	10
	Ponto 03	40	3951	106,3	40	5080	13,9	7,07	4350	10
	Ponto 04	60	3077	201,0	60	5390	13,1	7,07	4330	10
	Ponto 05	80	3300	251,0	80	5000	14,1	7,07	4330	10
VIGOTA 6	Ponto 01	--	--	--	--	5270	13,4	7,07	4240	10
	Ponto 02	20	4295	49,3	20	5190	13,6	7,07	4430	10
	Ponto 03	40	4214	100,3	40	5080	13,9	7,07	4430	10
	Ponto 04	60	4247	149,4	60	5390	13,1	7,07	4330	10
	Ponto 05	80	3328	249,0	80	4900	14,4	7,07	4410	10
VIGOTA 7	Ponto 01	--	--	--	--	4910	14,4	7,07	4410	10
	Ponto 02	20	4127	51,1	20	4840	14,6	7,07	4350	10
	Ponto 03	40	4122	102,3	40	4710	15,0	7,07	4310	10
	Ponto 04	60	2967	208,0	60	5080	13,9	7,07	4430	10
	Ponto 05	80	3286	252,0	80	4670	15,1	7,07	4310	10
VIGOTA 8	Ponto 01	--	--	--	--	5350	13,2	7,07	4410	10
	Ponto 02	20	4511	47,2	20	5000	14,1	7,07	4460	10
	Ponto 03	40	4315	98,2	40	4840	14,6	7,07	4550	10
	Ponto 04	60	4191	151,2	60	5350	13,2	7,07	4570	10
	Ponto 05	80	4455	190,9	80	5080	13,9	7,07	4310	10
VIGOTA 9	Ponto 01	--	--	--	--	4710	15,0	7,07	4510	10
	Ponto 02	20	4395	48,3	20	5000	14,1	7,07	4550	10
	Ponto 03	40	4261	99,3	40	5230	13,5	7,07	4460	10
	Ponto 04	60	4348	146,3	60	5350	13,2	7,07	4530	10
	Ponto 05	80	4288	197,5	80	5310	13,3	7,07	4630	10
VIGOTA 10	Ponto 01	--	--	--	--	4730	14,9	7,07	4260	10
	Ponto 02	20	4887	44,0	20	5350	13,2	7,07	4480	10
	Ponto 03	40	4532	94,0	40	5350	13,2	7,07	4430	10
	Ponto 04	60	4375	145,5	60	5270	13,4	7,07	4430	10
	Ponto 05	80	3559	234,0	80	4670	15,1	7,07	4430	10
VIGOTA 11	Ponto 01	--	--	--	--	5620	12,6	7,07	4380	10
	Ponto 02	20	4511	47,2	20	6290	11,2	7,07	4530	10
	Ponto 03	40	4131	102,1	40	6580	10,7	7,07	4590	10
	Ponto 04	60	3222	192,5	60	6670	10,6	7,07	4480	10
	Ponto 05	80	3401	244,0	80	5990	11,8	7,07	4350	10
VIGOTA 12	Ponto 01	--	--	--	--	5500	12,9	7,07	4430	10
	Ponto 02	20	4679	45,7	20	5500	12,9	7,07	4440	10
	Ponto 03	40	4276	99,0	40	5500	12,9	7,07	4530	10
	Ponto 04	60	4443	143,5	60	5500	12,9	7,07	4530	10
	Ponto 05	80	4268	198,3	80	5500	12,9	7,07	4120	10

Tabela 4 – Leitura VPU do Grupo 01 aos 7 dias.

MEDIDA 7 DIAS						
VIGOTA	MÉDIA ARITIMÉTICA DAS VELOCIDADES (m/s)			RELAÇÕES		
	DIRETA	SEMI-DIR.	INDIRETA	Direta/ Indireta	Direta/ Semi- direta	indireta/ Semi- direta
VIGOTA 01	4262,00	5366,00	4200,25	1,01	0,79	0,78
VIGOTA 02	4438,00	5366,00	4212,16	1,05	0,83	0,78
VIGOTA 03	4356,00	5252,00	4026,07	1,08	0,83	0,77
VIGOTA 04	4518,00	5288,00	3723,46	1,21	0,85	0,70
VIGOTA 05	4354,00	5180,00	3618,20	1,20	0,84	0,70
VIGOTA 06	4368,00	5166,00	4020,98	1,09	0,85	0,78
VIGOTA 07	4362,00	4842,00	3625,56	1,20	0,90	0,75
VIGOTA 08	4460,00	5124,00	4367,57	1,02	0,87	0,85
VIGOTA 09	4536,00	5120,00	4322,88	1,05	0,89	0,84
VIGOTA 10	4406,00	5074,00	4338,01	1,02	0,87	0,85
VIGOTA 11	4466,00	6230,00	3816,29	1,17	0,72	0,61
VIGOTA 12	4410,00	5500,00	4416,55	1,00	0,80	0,80
Média	4411,33	5292,33	4057,33	1,09	0,84	0,77
Desvio padrão	74,15	325,57	284,33	0,08	0,05	0,07
CV (%)	1,68%	6,15%	7,01%	7,22%	5,63%	8,86%

Tabela 5 – Médias, Desvio Padrão e Variância aos 7 dias para o grupo 01.

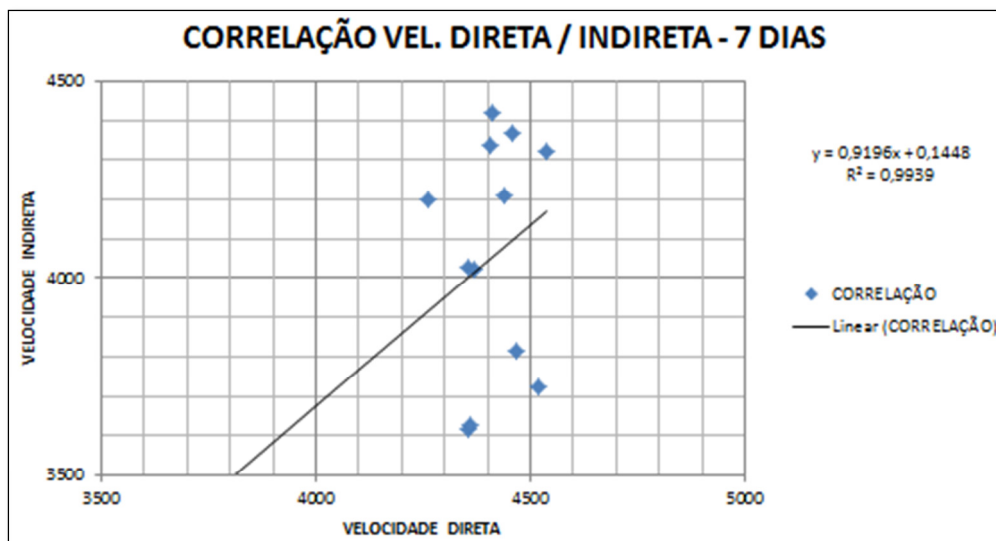


Gráfico 1 – Correlação da velocidade direta/indireta aos 7 dias para o grupo 01.

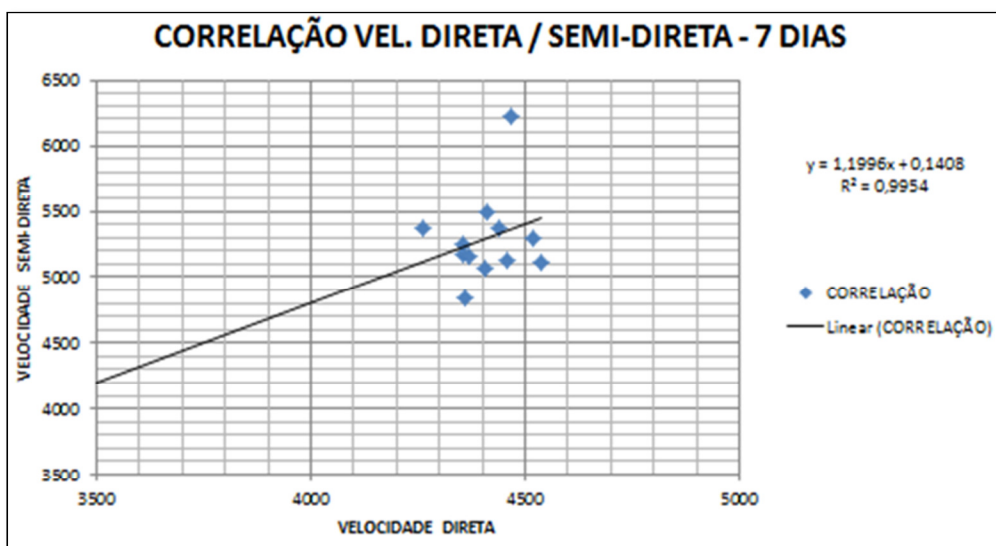


Gráfico 2– Correlação da velocidade direta/semidireta aos 7 dias para o grupo 01.

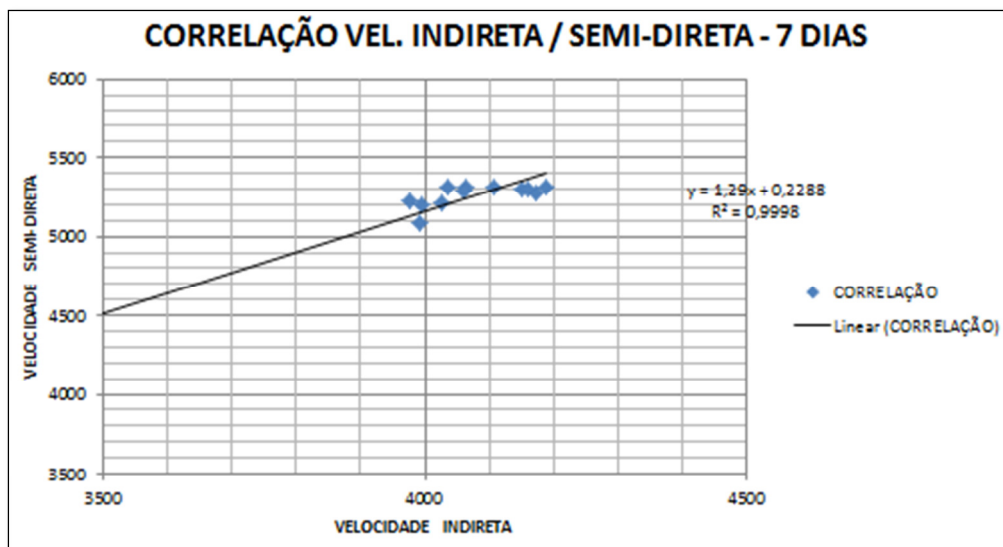


Gráfico 3– Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 7 dias para o grupo 01.

	IDADE DO ENSAIO:	28 dias	INDIRETA - LADO B						VUP Direta (m/s)	
	Grupo nº 1	Distancia (cm)	VUP Indireta (m/s)	Tempo (µs)	Distancia (cm)		Tempo (µs)	Distancia (cm)		
									Lado A/B	Largura (cm)
VIGOTA 1	Ponto 01	--			--	5.237	13,5	7,07	4330	10
	Ponto 02	20	4.174	45,1	20	5.161	13,7	7,07	4370	10
	Ponto 03	40	3.941	96,2	40	5.237	13,5	7,07	4290	10
	Ponto 04	60	3.909	145,6	60	5.199	13,6	7,07	4240	10
	Ponto 05	80	3.886	195,4	80	5.316	13,3	7,07	4350	10
VIGOTA 2	Ponto 01					4.944	14,3	7,07	4510	10
	Ponto 02	20	4.149	45,4	20	5.123	13,8	7,07	4550	10
	Ponto 03	40	3.985	95,0	40	5.316	13,3	7,07	4510	10
	Ponto 04	60	3.933	144,6	60	5.316	13,3	7,07	4390	10
	Ponto 05	80	3.908	194,2	80	5.276	13,4	7,07	4530	10
VIGOTA 3	Ponto 01					5.014	14,1	7,07	4440	10
	Ponto 02	20	4.232	44,4	20	5.316	13,3	7,07	4480	10
	Ponto 03	40	4.008	94,4	40	5.199	13,6	7,07	4510	10
	Ponto 04	60	3.958	143,6	60	5.316	13,3	7,07	4390	10
	Ponto 05	80	3.911	194,0	80	5.199	13,6	7,07	4510	10
VIGOTA 4	Ponto 01					5.316	13,3	7,07	4390	10
	Ponto 02	20	4.309	43,5	20	5.316	13,3	7,07	4390	10
	Ponto 03	40	4.039	93,6	40	5.316	13,3	7,07	4440	10
	Ponto 04	60	3.975	142,9	60	5.316	13,3	7,07	4310	10
	Ponto 05	80	3.926	193,2	80	5.316	13,3	7,07	4550	10
VIGOTA 5	Ponto 01					5.237	13,5	7,07	4510	10
	Ponto 02	20	4.241	44,3	20	5.123	13,8	7,07	4480	10
	Ponto 03	40	3.933	96,4	40	4.944	14,3	7,07	4440	10
	Ponto 04	60	3.885	146,6	60	5.123	13,8	7,07	4430	10
	Ponto 05	80	3.913	193,9	80	5.014	14,1	7,07	4440	10
VIGOTA 6	Ponto 01					5.199	13,6	7,07	4330	10
	Ponto 02	20	4.266	44,0	20	5.316	13,3	7,07	4460	10
	Ponto 03	40	4.016	94,2	40	5.316	13,3	7,07	4610	10
	Ponto 04	60	3.948	144,0	60	5.316	13,3	7,07	4440	10
	Ponto 05	80	4.010	193,4	80	5.276	13,4	7,07	4480	10
VIGOTA 7	Ponto 01					5.316	13,3	7,07	4510	10
	Ponto 02	20	4.182	45,0	20	5.316	13,3	7,07	4440	10
	Ponto 03	40	4.008	94,4	40	5.316	13,3	7,07	4480	10
	Ponto 04	60	3.968	143,2	60	5.316	13,3	7,07	4530	10
	Ponto 05	80	3.991	189,7	80	5.316	13,3	7,07	4510	10
VIGOTA 8	Ponto 01					5.316	13,3	7,07	4530	10
	Ponto 02	20	4.398	42,5	20	5.316	13,3	7,07	4630	10
	Ponto 03	40	4.158	90,6	40	5.316	13,3	7,07	4610	10
	Ponto 04	60	4.109	137,7	60	5.316	13,3	7,07	4670	10
	Ponto 05	80	4.093	184,4	80	5.316	13,3	7,07	4480	10
VIGOTA 9	Ponto 01					5.276	13,4	7,07	4550	10
	Ponto 02	20	4.258	44,1	20	5.316	13,3	7,07	4530	10
	Ponto 03	40	4.081	92,5	40	5.316	13,3	7,07	4550	10
	Ponto 04	60	4.036	140,5	60	5.316	13,3	7,07	4570	10
	Ponto 05	80	4.050	186,6	80	5.316	13,3	7,07	4630	10
VIGOTA 10	Ponto 01					5.316	13,3	7,07	4410	10
	Ponto 02	20	4.301	43,6	20	5.237	13,5	7,07	4550	10
	Ponto 03	40	4.125	91,4	40	5.316	13,3	7,07	4590	10
	Ponto 04	60	4.101	138,0	60	5.316	13,3	7,07	4570	10
	Ponto 05	80	4.072	185,5	80	5.316	13,3	7,07	4480	10
VIGOTA 11	Ponto 01					5.356	13,2	7,07	4550	10
	Ponto 02	20	4.309	43,5	20	5.199	13,6	7,07	4590	10
	Ponto 03	40	4.166	90,4	40	5.237	13,5	7,07	4610	10
	Ponto 04	60	4.117	137,4	60	5.199	13,6	7,07	4550	10
	Ponto 05	80	4.093	184,4	80	5.356	13,2	7,07	4530	10
VIGOTA 12	Ponto 01					5.356	13,2	7,07	4630	10
	Ponto 02	20	4.345	43,1	20	5.356	13,2	7,07	4630	10
	Ponto 03	40	4.170	90,3	40	5.356	13,2	7,07	4630	10
	Ponto 04	60	4.101	138,0	60	5.356	13,2	7,07	4630	10
	Ponto 05	80	4.031	187,6	80	5.086	13,9	7,07	4350	10

Tabela 6 - Leitura VPU do Grupo 01 aos 28 dias.

MEDIDA 28 DIAS						
VIGOTA	MÉDIA ARITIMÉTICA DAS			RELAÇÕES		
	DIRETA	SEMI-DIR.	INDIRETA	Direta/ Indireta	Direta/ Semi-direta	indireta/ Semi-direta
VIGOTA 01	4316,00	5229,80	3977,50	1,09	0,83	0,76
VIGOTA 02	4498,00	5194,99	3993,88	1,13	0,87	0,77
VIGOTA 03	4466,00	5208,56	4027,32	1,11	0,86	0,77
VIGOTA 04	4416,00	5315,79	4062,28	1,09	0,83	0,76
VIGOTA 05	4460,00	5088,33	3992,94	1,12	0,88	0,78
VIGOTA 06	4464,00	5284,40	4059,98	1,10	0,84	0,77
VIGOTA 07	4494,00	5315,79	4037,20	1,11	0,85	0,76
VIGOTA 08	4584,00	5315,79	4189,66	1,09	0,86	0,79
VIGOTA 09	4566,00	5307,86	4106,36	1,11	0,86	0,77
VIGOTA 10	4520,00	5300,04	4149,74	1,09	0,85	0,78
VIGOTA 11	4566,00	5269,24	4171,47	1,09	0,87	0,79
VIGOTA 12	4574,00	5302,11	4161,68	1,10	0,86	0,78
Média	4493,67	5261,06	4077,50	1,10	0,85	0,78
Desvio padrão	74,26	66,41	72,67	0,01	0,01	0,01
CV (%)	1,65%	1,26%	1,78%	1,14%	1,70%	1,37%

Tabela 7– Médias, Desvio Padrão e Variância aos 28 dias para o grupo 01.

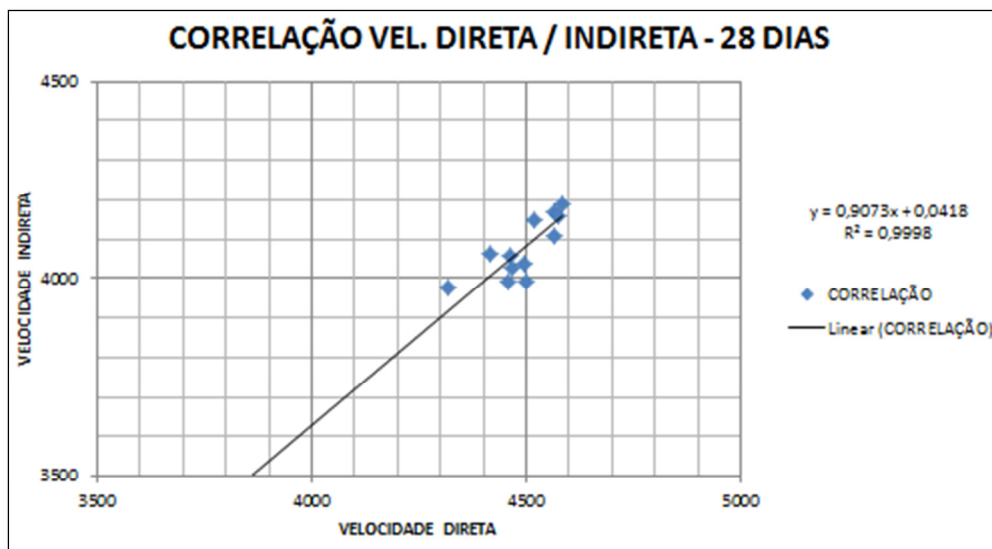


Gráfico 4– Correlação da velocidade direta/indireta aos 28 dias para o grupo 1 para o grupo 01.

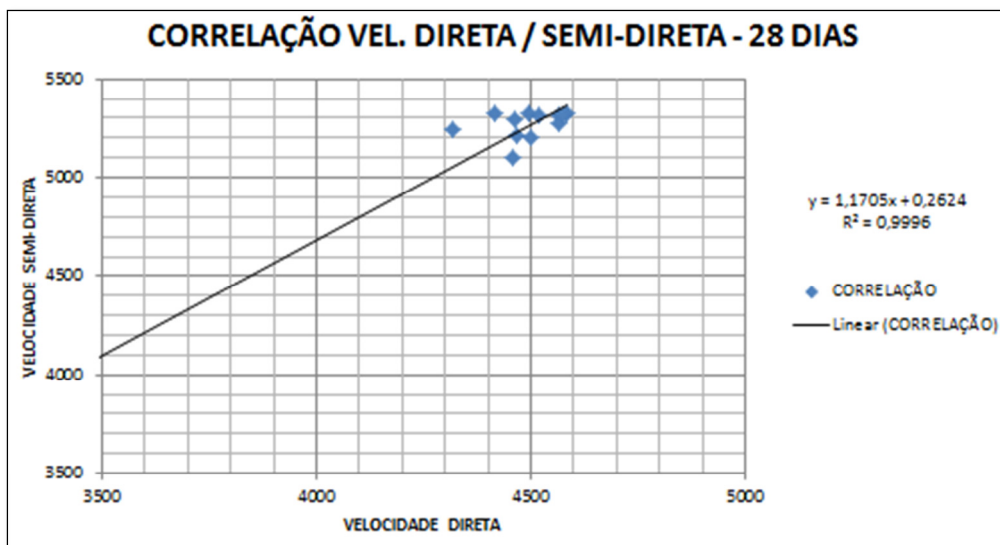


Gráfico 5 – Correlação da velocidade direta/semidireta aos 28 dias para o grupo 01.

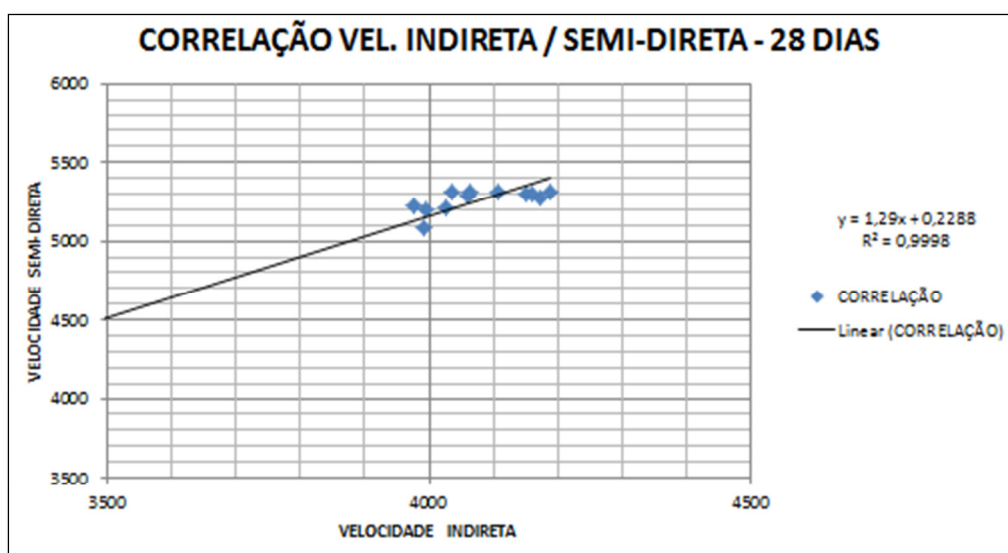


Gráfico 6 – Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 28 dias para o grupo 01.

	IDADE DO ENSAIO:	56 dias	INDIRETA - LADO B						VUP Direta (m/s)	
	Grupo nº 1	Distancia (cm)	VUP Indireta (m/s)	Tempo (µs)	Distancia (cm)		Tempo (µs)	Distancia (cm)		
									Lado A/B	Largura (cm)
VIGOTA 1	Ponto 01	--			--	5.237	13,5	7,07	4430	10
	Ponto 02	20	4.166	45,2	20	5.276	13,4	7,07	4370	10
	Ponto 03	40	3.970	95,4	40	5.316	13,3	7,07	4350	10
	Ponto 04	60	3.923	145,0	60	5.316	13,3	7,07	4310	10
	Ponto 05	80	3.900	194,6	80	5.316	13,3	7,07	4390	10
VIGOTA 2	Ponto 01					5.276	13,4	7,07	4610	10
	Ponto 02	20	4.232	44,4	20	5.316	13,3	7,07	4630	10
	Ponto 03	40	4.008	94,4	40	5.316	13,3	7,07	4610	10
	Ponto 04	60	3.978	142,8	60	5.316	13,3	7,07	4590	10
	Ponto 05	80	3.957	191,5	80	5.316	13,3	7,07	4650	10
VIGOTA 3	Ponto 01					5.237	13,5	7,07	4480	10
	Ponto 02	20	4.149	45,4	20	5.316	13,3	7,07	4460	10
	Ponto 03	40	4.008	94,4	40	5.199	13,6	7,07	4590	10
	Ponto 04	60	3.914	145,4	60	5.316	13,3	7,07	4410	10
	Ponto 05	80	3.919	193,6	80	5.276	13,4	7,07	4590	10
VIGOTA 4	Ponto 01					5.316	13,3	7,07	4550	10
	Ponto 02	20	4.266	44,0	20	5.316	13,3	7,07	4480	10
	Ponto 03	40	4.054	93,2	40	5.316	13,3	7,07	4570	10
	Ponto 04	60	3.990	142,3	60	5.316	13,3	7,07	4510	10
	Ponto 05	80	3.963	191,2	80	5.316	13,3	7,07	4590	10
VIGOTA 5	Ponto 01					5.316	13,3	7,07	4610	10
	Ponto 02	20	4.174	45,1	20	5.237	13,5	7,07	4590	10
	Ponto 03	40	3.970	95,4	40	5.199	13,6	7,07	4530	10
	Ponto 04	60	3.948	144,0	60	5.316	13,3	7,07	4530	10
	Ponto 05	80	3.944	192,2	80	5.316	13,3	7,07	4570	10
VIGOTA 6	Ponto 01					5.199	13,6	7,07	4460	10
	Ponto 02	20	4.141	45,5	20	5.316	13,3	7,07	4570	10
	Ponto 03	40	4.008	94,4	40	5.316	13,3	7,07	4630	10
	Ponto 04	60	3.914	145,4	60	5.316	13,3	7,07	4570	10
	Ponto 05	80	4.016	193,1	80	5.276	13,4	7,07	4480	10
VIGOTA 7	Ponto 01					5.316	13,3	7,07	4590	10
	Ponto 02	20	4.224	44,5	20	5.316	13,3	7,07	4530	10
	Ponto 03	40	4.097	92,1	40	5.316	13,3	7,07	4590	10
	Ponto 04	60	4.033	140,6	60	5.316	13,3	7,07	4670	10
	Ponto 05	80	4.029	187,7	80	5.316	13,3	7,07	4570	10
VIGOTA 8	Ponto 01					5.316	13,3	7,07	4590	10
	Ponto 02	20	4.354	43,0	20	5.316	13,3	7,07	4630	10
	Ponto 03	40	4.170	90,3	40	5.316	13,3	7,07	4590	10
	Ponto 04	60	4.091	138,4	60	5.316	13,3	7,07	4700	10
	Ponto 05	80	4.089	184,6	80	5.316	13,3	7,07	4510	10
VIGOTA 9	Ponto 01					5.316	13,3	7,07	4570	10
	Ponto 02	20	4.266	44,0	20	5.014	14,1	7,07	4590	10
	Ponto 03	40	4.137	91,1	40	5.316	13,3	7,07	4630	10
	Ponto 04	60	4.091	138,4	60	5.316	13,3	7,07	4720	10
	Ponto 05	80	4.089	184,6	80	5.316	13,3	7,07	4700	10
VIGOTA 10	Ponto 01					5.316	13,3	7,07	4440	10
	Ponto 02	20	4.266	44,0	20	5.237	13,5	7,07	4610	10
	Ponto 03	40	4.141	91,0	40	5.316	13,3	7,07	4630	10
	Ponto 04	60	4.091	138,4	60	5.316	13,3	7,07	4530	10
	Ponto 05	80	4.052	186,5	80	5.316	13,3	7,07	4480	10
VIGOTA 11	Ponto 01					5.316	13,3	7,07	4510	10
	Ponto 02	20	4.327	43,3	20	5.237	13,5	7,07	4630	10
	Ponto 03	40	4.162	90,5	40	5.316	13,3	7,07	4590	10
	Ponto 04	60	4.147	136,3	60	5.316	13,3	7,07	4510	10
	Ponto 05	80	4.089	184,6	80	5.316	13,3	7,07	4530	10
VIGOTA 12	Ponto 01					5.316	13,3	7,07	4650	10
	Ponto 02	20	4.336	43,2	20	5.316	13,3	7,07	4670	10
	Ponto 03	40	4.207	89,4	40	5.276	13,4	7,07	4630	10
	Ponto 04	60	4.141	136,5	60	5.316	13,3	7,07	4590	10
	Ponto 05	80	4.070	185,6	80	5.276	13,4	7,07	4590	10

Tabela 8- Leitura VPU do Grupo 01 aos 56 dias.

MEDIDA 56 DIAS						
VIGOTA	MÉDIA ARITIMÉTICA DAS			RELAÇÕES		
	DIRETA	SEMI-DIR.	INDIRETA	Direta/ Indireta	Direta/ Semi-direta	indireta/ Semi-direta
VIGOTA 01	4370,00	5292,10	3989,95	1,10	0,83	0,75
VIGOTA 02	4618,00	5307,86	4043,78	1,14	0,87	0,76
VIGOTA 03	4506,00	5268,65	3997,41	1,13	0,86	0,76
VIGOTA 04	4540,00	5315,79	4068,34	1,12	0,85	0,77
VIGOTA 05	4566,00	5276,59	4009,09	1,14	0,87	0,76
VIGOTA 06	4542,00	5284,40	4019,69	1,13	0,86	0,76
VIGOTA 07	4590,00	5315,79	4095,90	1,12	0,86	0,77
VIGOTA 08	4604,00	5315,79	4175,88	1,10	0,87	0,79
VIGOTA 09	4642,00	5255,47	4145,92	1,12	0,88	0,79
VIGOTA 10	4538,00	5300,04	4137,63	1,10	0,86	0,78
VIGOTA 11	4554,00	5300,04	4181,22	1,09	0,86	0,79
VIGOTA 12	4626,00	5299,92	4188,51	1,10	0,87	0,79
Média	4558,00	5294,37	4087,78	1,12	0,86	0,77
Desvio padrão	69,24	18,82	72,72	0,02	0,01	0,01
CV (%)	1,52%	0,36%	1,78%	1,51%	1,54%	1,71%

Tabela 9– Médias, Desvio Padrão e Variância aos 56 dias para o grupo 01.

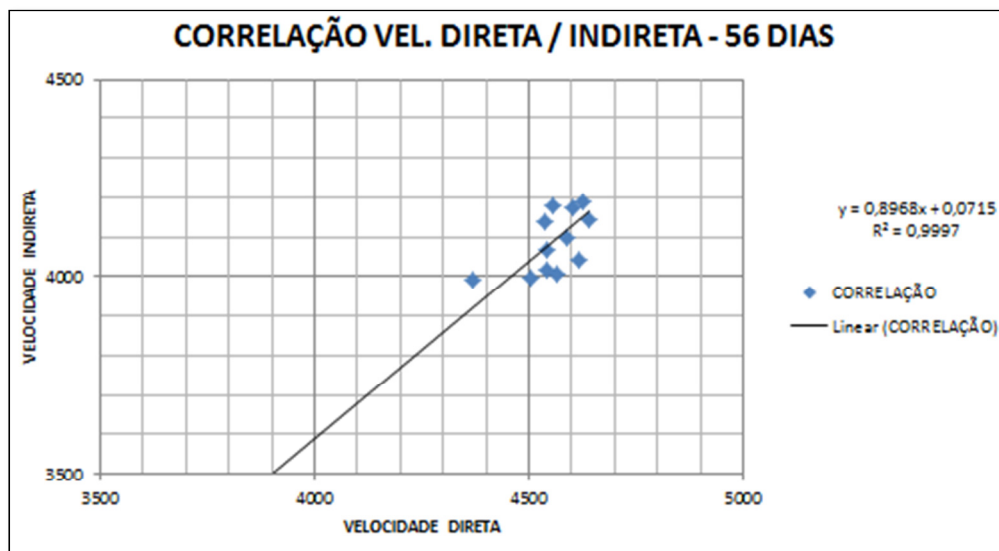


Gráfico 7 – Correlação da velocidade direta/indireta aos 56 dias para o grupo 01.

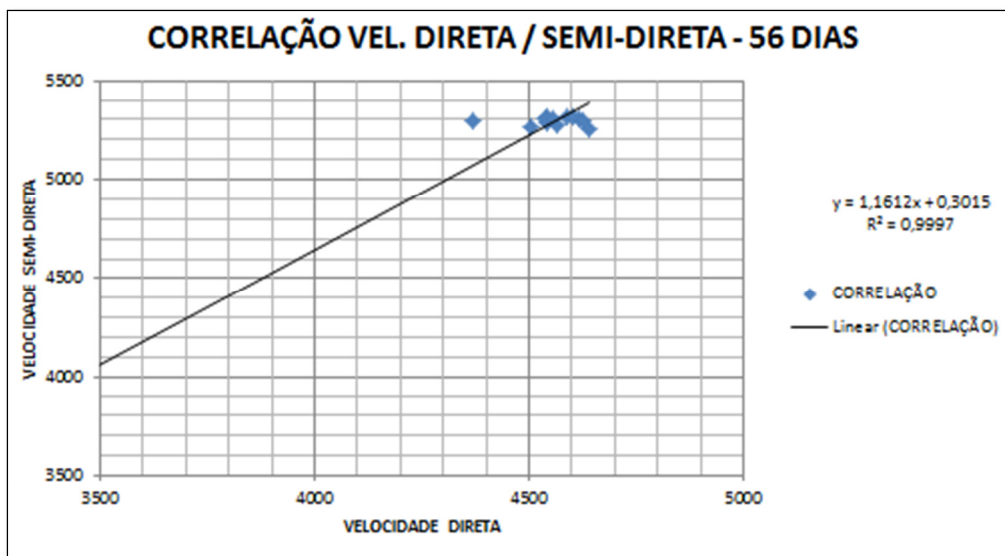


Gráfico 8– Correlação da velocidade direta/semidireta aos 56 dias para o grupo 01.

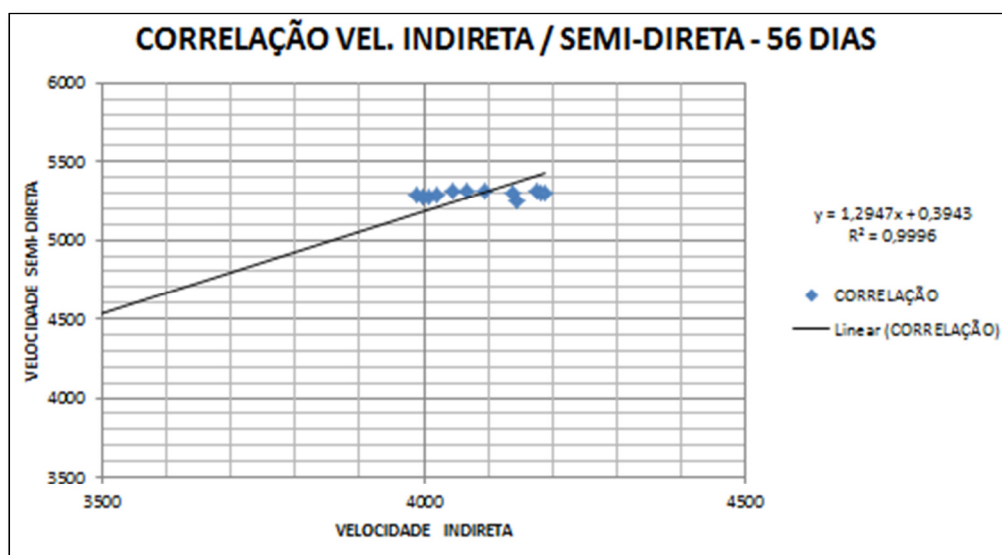


Gráfico 9– Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 56 dias para o grupo 01.

4.1.2. Grupo 02

	IDADE DO ENSAIO:	7 dias	INDIRETA - LADO B			SEMIDIRET A - LADOS B/C				VUP Direta (m/s)	
	Grupo nº 2	Distancia (cm)	VUP Indireta (m/s)	Tempo (µs)	Distancia (cm)	VUP Semidireta (m/s)		Tempo (µs)	Distancia (cm)		
										Lado A/B	Largura (cm)
VIGOTA 13	Ponto 01	--		--	--	6.993	4.944	14,3	7,07	4000	10
	Ponto 02	20	3.911	48,3	20	7.634	5.397	13,1	7,07	3880	10
	Ponto 03	40	3.731	104,3	40	6.897	4.876	14,5	7,07	3980	10
	Ponto 04	60	3.883	158,3	60	6.993	4.944	14,3	7,07	3980	10
	Ponto 05	80	3.753	214,0	80	7.576	5.356	13,2	7,07	3850	10
VIGOTA 14	Ponto 01					7.634	5.397	13,1	7,07	4080	10
	Ponto 02	20	3.738	50,3	20	7.519	5.316	13,3	7,07	4080	10
	Ponto 03	40	3.585	108,4	40	6.623	4.682	15,1	7,07	4070	10
	Ponto 04	60	1.880	216,0	60	7.092	5.014	14,1	7,07	4170	10
	Ponto 05	80	3.806	271,0	80	7.092	5.014	14,1	7,07	4000	10
VIGOTA 15	Ponto 01					6.897	4.876	14,5	7,07	3880	10
	Ponto 02	20	3.681	51,0	20	6.494	4.591	15,4	7,07	3940	10
	Ponto 03	40	3.836	105,6	40	6.993	4.944	14,3	7,07	4020	10
	Ponto 04	60	4.065	157,4	60	7.246	5.123	13,8	7,07	4000	10
	Ponto 05	80	4.082	209,0	80	6.667	4.713	15,0	7,07	3980	10
VIGOTA 16	Ponto 01					7.092	5.014	14,1	7,07	3970	10
	Ponto 02	20	3.633	51,6	20	6.536	4.621	15,3	7,07	4000	10
	Ponto 03	40	3.127	117,6	40	6.623	4.682	15,1	7,07	4030	10
	Ponto 04	60	4.247	167,4	60	6.711	4.745	14,9	7,07	4080	10
	Ponto 05	80	2.015	268,0	80	7.042	4.979	14,2	7,07	4000	10
VIGOTA 17	Ponto 01					6.494	4.591	15,4	7,07	3950	10
	Ponto 02	20	3.649	51,4	20	6.897	4.876	14,5	7,07	4000	10
	Ponto 03	40	3.791	106,6	40	7.042	4.979	14,2	7,07	4020	10
	Ponto 04	60	4.056	158,5	60	7.463	5.276	13,4	7,07	4070	10
	Ponto 05	80	3.844	213,0	80	7.463	5.276	13,4	7,07	3920	10
VIGOTA 18	Ponto 01					6.711	4.745	14,9	7,07	4020	10
	Ponto 02	20	3.626	51,7	20	6.623	4.682	15,1	7,07	4000	10
	Ponto 03	40	4.237	101,6	40	7.143	5.050	14,0	7,07	4020	10
	Ponto 04	60	3.883	155,6	60	6.667	4.713	15,0	7,07	3940	10
	Ponto 05	80	3.500	215,0	80	6.623	4.682	15,1	7,07	3920	10
VIGOTA 19	Ponto 01					7.194	5.086	13,9	7,07	4030	10
	Ponto 02	20	3.861	52,3	20	7.194	5.086	13,9	7,07	4030	10
	Ponto 03	40	3.667	109,2	40	6.993	4.944	14,3	7,07	4120	10
	Ponto 04	60	1.895	216,0	60	6.289	4.447	15,9	7,07	4070	10
	Ponto 05	80	3.883	270,0	80	7.353	5.199	13,6	7,07	4050	10
VIGOTA 20	Ponto 01					7.634	5.397	13,1	7,07	4120	10
	Ponto 02	20	3.886	52,0	20	7.143	5.050	14,0	7,07	4290	10
	Ponto 03	40	4.022	104,3	40	7.194	5.086	13,9	7,07	4200	10
	Ponto 04	60	1.810	216,0	60	7.634	5.397	13,1	7,07	4200	10
	Ponto 05	80	4.324	265,0	80	7.634	5.397	13,1	7,07	4100	10
VIGOTA 21	Ponto 01					6.579	4.651	15,2	7,07	4080	10
	Ponto 02	20	4.142	49,1	20	7.299	5.161	13,7	7,07	4080	10
	Ponto 03	40	3.947	102,3	40	7.092	5.014	14,1	7,07	3970	10
	Ponto 04	60	1.810	214,0	60	7.194	5.086	13,9	7,07	4030	10
	Ponto 05	80	4.228	264,0	80	6.897	4.876	14,5	7,07	4030	10
VIGOTA 22	Ponto 01					6.944	4.910	14,4	7,07	4070	10
	Ponto 02	20	3.705	54,3	20	6.579	4.651	15,2	7,07	4170	10
	Ponto 03	40	4.056	106,2	40	7.194	5.086	13,9	7,07	4200	10
	Ponto 04	60	1.951	210,0	60	7.042	4.979	14,2	7,07	4150	10
	Ponto 05	80	3.806	265,0	80	6.494	4.591	15,4	7,07	4080	10
VIGOTA 23	Ponto 01					7.576	5.356	13,2	7,07	4180	10
	Ponto 02	20	3.861	52,3	20	6.711	4.745	14,9	7,07	4120	10
	Ponto 03	40	4.039	104,4	40	7.092	5.014	14,1	7,07	4030	10
	Ponto 04	60	1.828	215,0	60	7.092	5.014	14,1	7,07	4130	10
	Ponto 05	80	4.426	263,0	80	6.667	4.713	15,0	7,07	4150	10
VIGOTA 24	Ponto 01					7.092	5.014	14,1	7,07	4050	10
	Ponto 02	20	4.050	50,1	20	7.042	4.979	14,2	7,07	3890	10
	Ponto 03	40	3.578	108,3	40	6.803	4.810	14,7	7,07	3950	10
	Ponto 04	60	4.305	157,5	60	6.536	4.621	15,3	7,07	3940	10
	Ponto 05	80	1.938	262,0	80	6.897	4.876	14,5	7,07	4120	10

Tabela 10 – Leitura VPU do Grupo 02 aos 07 dias.

MEDIDA 7 DIAS						
VIGOTA	MÉDIA ARITIMÉTICA DAS			RELAÇÕES		
	DIRETA	SEMI-DIR.	INDIRETA	Direta/ Indireta	Direta/ Semi-direta	indireta/ Semi-direta
VIGOTA 13	3938,00	5103,40	3819,79	1,03	0,77	0,75
VIGOTA 14	4080,00	5084,64	3252,24	1,25	0,80	0,64
VIGOTA 15	3964,00	4849,47	3916,13	1,01	0,82	0,81
VIGOTA 16	4016,00	4808,21	3255,39	1,23	0,84	0,68
VIGOTA 17	3992,00	4999,58	3834,96	1,04	0,80	0,77
VIGOTA 18	3980,00	4774,51	3811,55	1,04	0,83	0,80
VIGOTA 19	4060,00	4952,36	3326,55	1,22	0,82	0,67
VIGOTA 20	4182,00	5265,43	3510,58	1,19	0,79	0,67
VIGOTA 21	4038,00	4957,66	3531,75	1,14	0,81	0,71
VIGOTA 22	4134,00	4843,43	3379,49	1,22	0,85	0,70
VIGOTA 23	4122,00	4968,55	3538,61	1,16	0,83	0,71
VIGOTA 24	3990,00	4859,87	3467,65	1,15	0,82	0,71
Média	4041,33	4955,59	3553,72	1,14	0,82	0,72
Desvio padrão	72,38	136,67	227,22	0,08	0,02	0,05
CV (%)	1,79%	2,76%	6,39%	7,40%	2,56%	7,07%

Tabela 11 - Médias, Desvio Padrão e Variância aos 07 dias para o grupo 02.

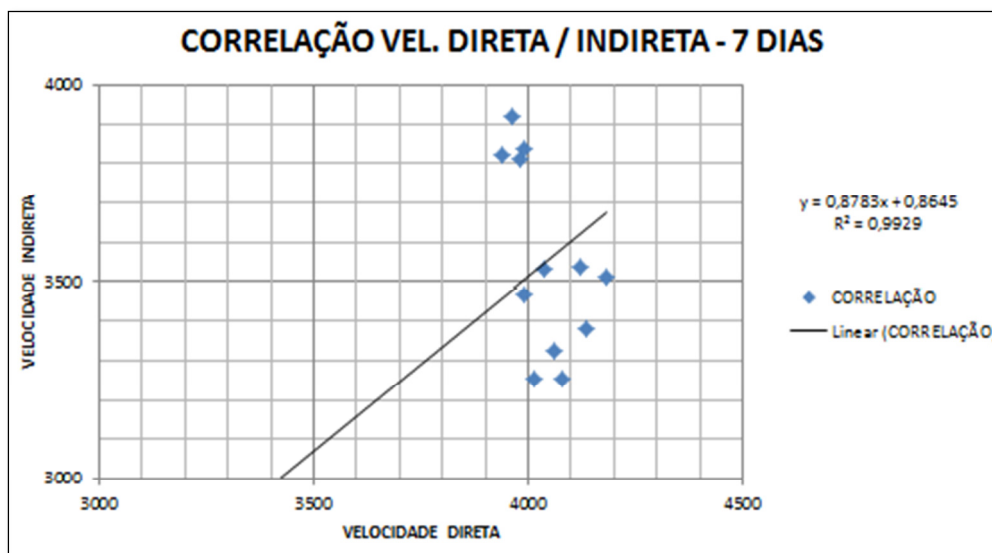


Gráfico 10– Correlação da velocidade direta/indireta aos 07 dias para o grupo 02.

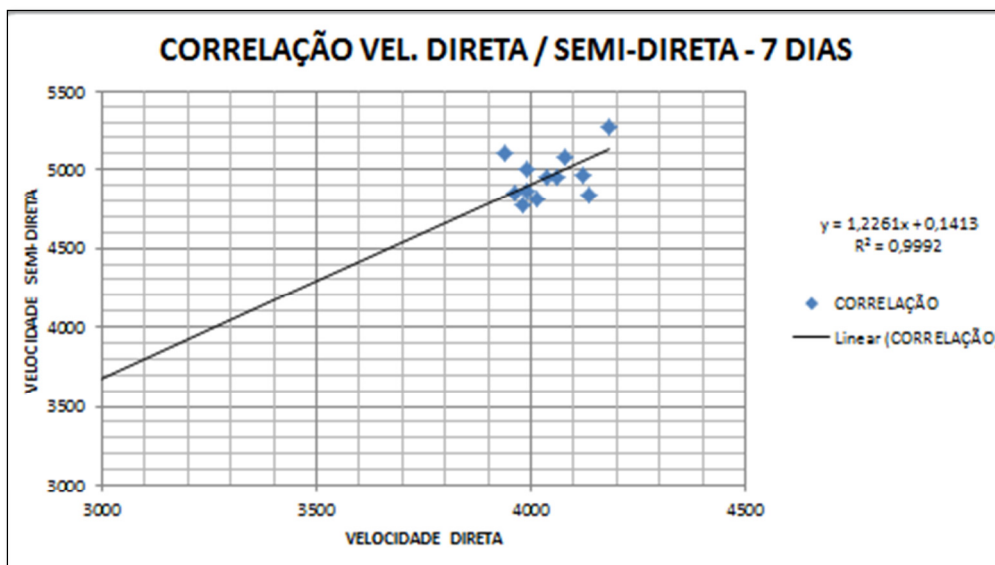


Gráfico 11– Correlação da velocidade direta/semidireta aos 07 dias para o grupo 02.

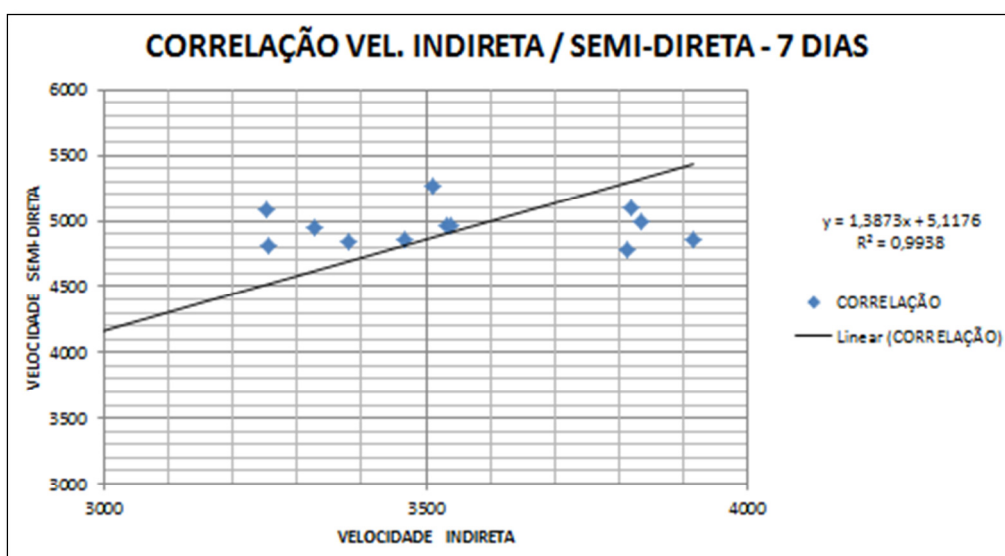


Gráfico 12– Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 07 dias para o grupo 02.

	IDADE DO ENSAIO	28 dias	INDIRETA - LADO B			SEMIDIRET A - LADOS B/C				VUP Direta (m/s)	
	Grupo nº 2	Distancia (cm)	VUP Indireta (m/s)	Tempo (µs)	Distancia (cm)	VUP Semidireta (m/s)		Tempo (µs)	Distancia (cm)		
										Lado A/B	Largura (cm)
VIGOTA 13	Ponto 01	--	--	--	--	7.463	5.276	13,4	7,07	4120	10
	Ponto 02	20	4.196	45,4	20	7.463	5.276	13,4	7,07	4020	10
	Ponto 03	40	3.875	99,5	40	7.042	4.979	14,2	7,07	4130	10
	Ponto 04	60	4.181	150,0	60	7.463	5.276	13,4	7,07	4170	10
	Ponto 05	80	4.048	202,0	80	7.042	4.979	14,2	7,07	4070	10
VIGOTA 14	Ponto 01					7.143	5.050	14,0	7,07	4150	10
	Ponto 02	20	4.005	47,3	20	7.519	5.316	13,3	7,07	4200	10
	Ponto 03	40	3.964	100,3	40	7.042	4.979	14,2	7,07	4260	10
	Ponto 04	60	4.266	149,9	60	7.463	5.276	13,4	7,07	4290	10
	Ponto 05	80	3.955	203,0	80	7.407	5.237	13,5	7,07	4170	10
VIGOTA 15	Ponto 01					7.246	5.123	13,8	7,07	4070	10
	Ponto 02	20	4.005	47,3	20	7.576	5.356	13,2	7,07	4200	10
	Ponto 03	40	3.972	100,2	40	7.576	5.356	13,2	7,07	4200	10
	Ponto 04	60	4.145	151,1	60	7.576	5.356	13,2	7,07	4200	10
	Ponto 05	80	4.056	203,0	80	7.463	5.276	13,4	7,07	4120	10
VIGOTA 16	Ponto 01					7.463	5.276	13,4	7,07	4100	10
	Ponto 02	20	4.196	45,4	20	7.463	5.276	13,4	7,07	4120	10
	Ponto 03	40	3.308	108,0	40	7.519	5.316	13,3	7,07	4200	10
	Ponto 04	60	3.852	162,4	60	7.576	5.356	13,2	7,07	4200	10
	Ponto 05	80	4.172	213,0	80	7.463	5.276	13,4	7,07	4130	10
VIGOTA 17	Ponto 01					7.194	5.086	13,9	7,07	4070	10
	Ponto 02	20	4.103	46,3	20	7.299	5.161	13,7	7,07	4130	10
	Ponto 03	40	3.972	99,2	40	7.092	5.014	14,1	7,07	4100	10
	Ponto 04	60	4.163	149,9	60	7.246	5.123	13,8	7,07	4130	10
	Ponto 05	80	4.039	202,0	80	7.353	5.199	13,6	7,07	4070	10
VIGOTA 18	Ponto 01					6.897	4.876	14,5	7,07	4170	10
	Ponto 02	20	4.185	45,5	20	6.897	4.876	14,5	7,07	4200	10
	Ponto 03	40	3.844	100,0	40	6.711	4.745	14,9	7,07	4150	10
	Ponto 04	60	4.136	151,0	60	6.944	4.910	14,4	7,07	4130	10
	Ponto 05	80	3.883	205,0	80	7.246	5.123	13,8	7,07	4180	10
VIGOTA 19	Ponto 01					7.576	5.356	13,2	7,07	4120	10
	Ponto 02	20	4.492	45,7	20	7.752	5.481	12,9	7,07	4130	10
	Ponto 03	40	4.082	97,3	40	7.634	5.397	13,1	7,07	4200	10
	Ponto 04	60	3.915	150,9	60	7.143	5.050	14,0	7,07	4150	10
	Ponto 05	80	3.955	204,0	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4100	10
VIGOTA 20	Ponto 01					7.463	5.276	13,4	7,07	4290	10
	Ponto 02	20	4.447	46,1	20	7.463	5.276	13,4	7,07	4350	10
	Ponto 03	40	3.828	100,8	40	7.407	5.237	13,5	7,07	4410	10
	Ponto 04	60	3.997	153,4	60	7.143	5.050	14,0	7,07	4370	10
	Ponto 05	80	4.266	203,0	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4220	10
VIGOTA 21	Ponto 01					7.576	5.356	13,2	7,07	4080	10
	Ponto 02	20	4.595	44,8	20	7.752	5.481	12,9	7,07	4130	10
	Ponto 03	40	4.285	94,2	40	7.692	5.438	13,0	7,07	4170	10
	Ponto 04	60	4.154	145,0	60	7.752	5.481	12,9	7,07	4130	10
	Ponto 05	80	4.228	195,0	80	7.752	5.481	12,9	7,07	4220	10
VIGOTA 22	Ponto 01					7.246	5.123	13,8	7,07	4200	10
	Ponto 02	20	4.607	44,7	20	6.897	4.876	14,5	7,07	4260	10
	Ponto 03	40	4.100	96,1	40	7.353	5.199	13,6	7,07	4330	10
	Ponto 04	60	4.305	145,3	60	7.143	5.050	14,0	7,07	4270	10
	Ponto 05	80	4.163	196,0	80	7.692	5.438	13,0	7,07	4260	10
VIGOTA 23	Ponto 01					7.246	5.123	13,8	7,07	4330	10
	Ponto 02	20	4.549	45,2	20	7.299	5.161	13,7	7,07	4220	10
	Ponto 03	40	3.964	98,2	40	7.143	5.050	14,0	7,07	4260	10
	Ponto 04	60	4.118	149,4	60	7.246	5.123	13,8	7,07	4310	10
	Ponto 05	80	4.447	197,2	80	7.752	5.481	12,9	7,07	4290	10
VIGOTA 24	Ponto 01					7.194	5.086	13,9	7,07	4170	10
	Ponto 02	20	4.470	45,9	20	7.246	5.123	13,8	7,07	4200	10
	Ponto 03	40	4.031	98,1	40	7.299	5.161	13,7	7,07	4170	10
	Ponto 04	60	4.118	149,3	60	7.194	5.086	13,9	7,07	4130	10
	Ponto 05	80	4.237	199,2	80	7.299	5.161	13,7	7,07	4130	10

Tabela 12 – Leitura VPU do Grupo 02 aos 28 dias.

MEDIDA 28 DIAS						
VIGOTA	MÉDIA ARITIMÉTICA DAS			RELAÇÕES		
	DIRETA	SEMI-DIR.	INDIRETA	Direta/ Indireta	Direta/ Semi-direta	indireta/ Semi-direta
VIGOTA 13	4102,00	5157,22	4074,95	1,01	0,80	0,79
VIGOTA 14	4214,00	5171,56	4047,41	1,04	0,81	0,78
VIGOTA 15	4158,00	5293,50	4044,44	1,03	0,79	0,76
VIGOTA 16	4150,00	5300,04	3881,91	1,07	0,78	0,73
VIGOTA 17	4100,00	5116,56	4069,21	1,01	0,80	0,80
VIGOTA 18	4166,00	4905,92	4011,92	1,04	0,85	0,82
VIGOTA 19	4140,00	5327,94	4111,08	1,01	0,78	0,77
VIGOTA 20	4328,00	5239,07	4134,67	1,05	0,83	0,79
VIGOTA 21	4146,00	5447,28	4315,56	0,96	0,76	0,79
VIGOTA 22	4264,00	5137,21	4293,70	0,99	0,83	0,84
VIGOTA 23	4282,00	5187,52	4269,16	1,00	0,83	0,82
VIGOTA 24	4160,00	5123,40	4213,84	0,99	0,81	0,82
Média	4184,17	5200,60	4122,32	1,02	0,81	0,79
Desvio padrão	69,24	130,33	123,71	0,03	0,02	0,03
CV (%)	1,65%	2,51%	3,00%	2,82%	3,06%	3,51%

Tabela 13- Médias, Desvio Padrão e Variância aos 28 dias para o grupo 02.

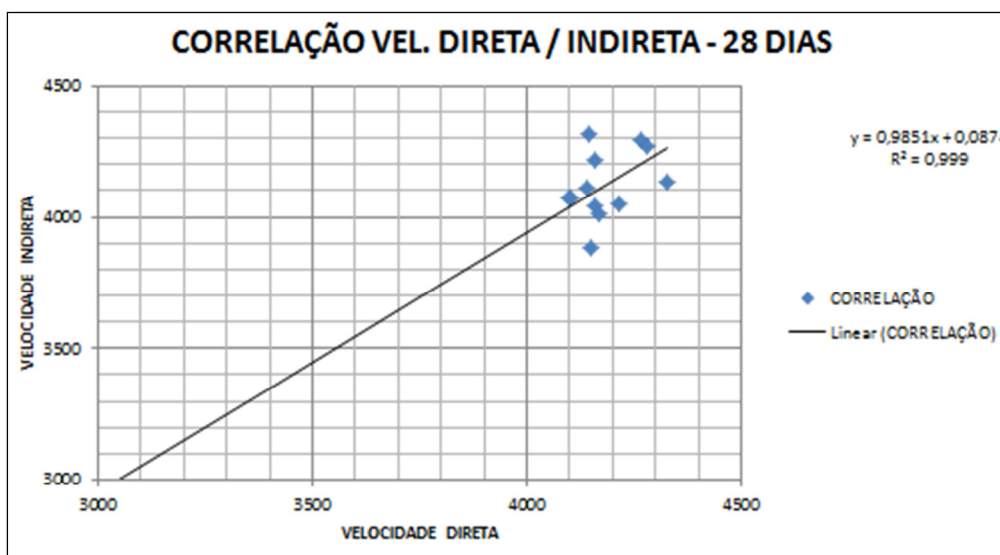


Gráfico 13– Correlação da velocidade direta/indireta aos 28 dias para o grupo 02.

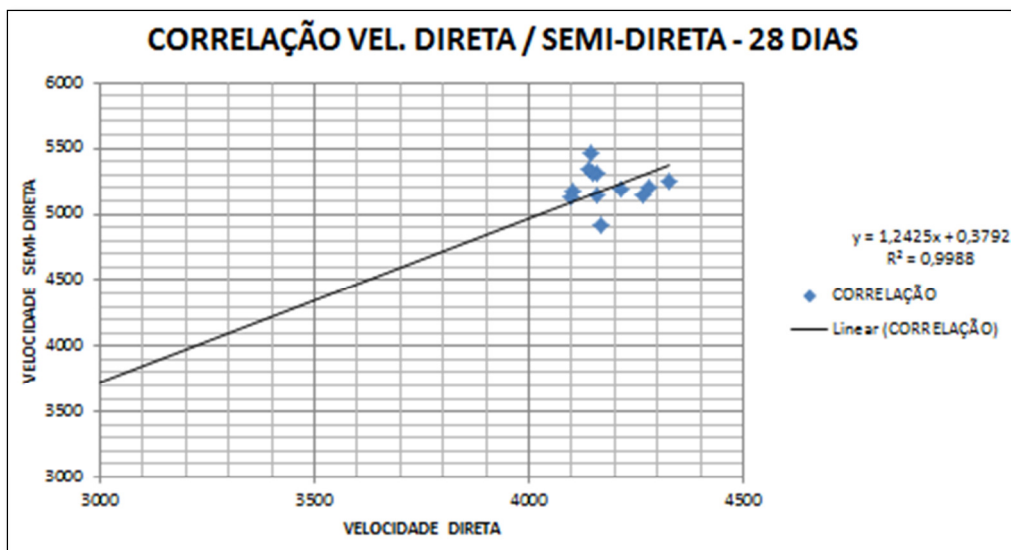


Gráfico 14– Correlação da velocidade direta/semidireta aos 28 dias para o grupo 02.

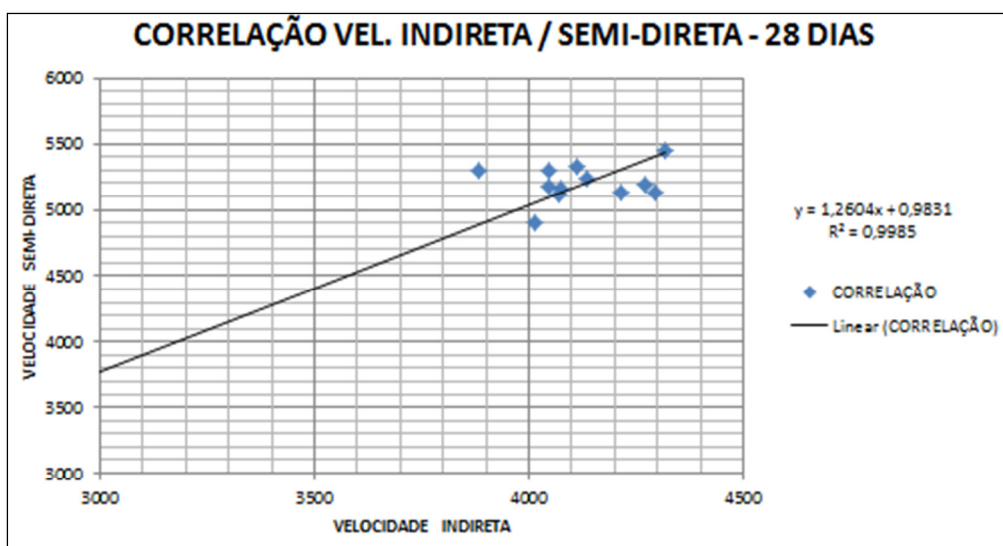


Gráfico 15– Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 28 dias para o grupo 02.

	IDADE DO ENSAIO	56 dias	INDIRETA - LADO B			SEMIDIRET A - LADOS B/C				VUP Direta (m/s)	
	Grupo nº 2	Distancia (cm)	VUP Indireta (m/s)	Tempo (µs)	Distancia (cm)	VUP Semidireta (m/s)		Tempo (µs)	Distancia (cm)		
										Lado A/B	Largura (cm)
VIGOTA 13	Ponto 01	--	--	--	--	7.143	5.050	14,0	7,07	4180	10
	Ponto 02	20	4.103	46,3	20	6.849	4.842	14,6	7,07	4100	10
	Ponto 03	40	4.136	97,3	40	6.944	4.910	14,4	7,07	4170	10
	Ponto 04	60	4.014	149,7	60	7.299	5.161	13,7	7,07	4240	10
	Ponto 05	80	4.109	201,0	80	6.897	4.876	14,5	7,07	4120	10
VIGOTA 14	Ponto 01					7.092	5.014	14,1	7,07	4270	10
	Ponto 02	20	3.958	47,8	20	7.092	5.014	14,1	7,07	4290	10
	Ponto 03	40	4.005	100,3	40	7.194	5.086	13,9	7,07	4310	10
	Ponto 04	60	4.266	149,9	60	7.246	5.123	13,8	7,07	4330	10
	Ponto 05	80	3.955	203,0	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4240	10
VIGOTA 15	Ponto 01					7.246	5.123	13,8	7,07	4120	10
	Ponto 02	20	4.185	45,5	20	7.576	5.356	13,2	7,07	4200	10
	Ponto 03	40	4.145	96,4	40	7.194	5.086	13,9	7,07	4310	10
	Ponto 04	60	4.200	146,7	60	7.143	5.050	14,0	7,07	4330	10
	Ponto 05	80	4.154	197,5	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4240	10
VIGOTA 16	Ponto 01					7.299	5.161	13,7	7,07	4130	10
	Ponto 02	20	4.144	45,9	20	7.407	5.237	13,5	7,07	4180	10
	Ponto 03	40	2.397	130,9	40	7.463	5.276	13,4	7,07	4220	10
	Ponto 04	60	2.654	208,0	60	7.407	5.237	13,5	7,07	4240	10
	Ponto 05	80	4.644	254,0	80	7.519	5.316	13,3	7,07	4200	10
VIGOTA 17	Ponto 01					7.042	4.979	14,2	7,07	4050	10
	Ponto 02	20	4.217	45,2	20	7.092	5.014	14,1	7,07	4170	10
	Ponto 03	40	4.048	97,2	40	7.353	5.199	13,6	7,07	4180	10
	Ponto 04	60	4.109	148,5	60	7.299	5.161	13,7	7,07	4220	10
	Ponto 05	80	4.219	198,6	80	7.246	5.123	13,8	7,07	4100	10
VIGOTA 18	Ponto 01					7.299	5.161	13,7	7,07	4200	10
	Ponto 02	20	4.327	44,2	20	7.042	4.979	14,2	7,07	4290	10
	Ponto 03	40	4.127	95,3	40	7.246	5.123	13,8	7,07	4240	10
	Ponto 04	60	4.228	145,3	60	7.299	5.161	13,7	7,07	4180	10
	Ponto 05	80	3.753	201,0	80	7.353	5.199	13,6	7,07	4200	10
VIGOTA 19	Ponto 01					7.299	5.161	13,7	7,07	4170	10
	Ponto 02	20	4.437	46,2	20	7.519	5.316	13,3	7,07	4170	10
	Ponto 03	40	4.031	98,4	40	7.353	5.199	13,6	7,07	4160	10
	Ponto 04	60	3.972	151,3	60	7.042	4.979	14,2	7,07	4150	10
	Ponto 05	80	3.988	204,0	80	7.407	5.237	13,5	7,07	4120	10
VIGOTA 20	Ponto 01					7.576	5.356	13,2	7,07	4270	10
	Ponto 02	20	4.655	44,3	20	7.576	5.356	13,2	7,07	4440	10
	Ponto 03	40	4.118	95,5	40	7.576	5.356	13,2	7,07	4410	10
	Ponto 04	60	4.039	147,6	60	7.576	5.356	13,2	7,07	4440	10
	Ponto 05	80	4.543	194,5	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4310	10
VIGOTA 21	Ponto 01					7.407	5.237	13,5	7,07	4260	10
	Ponto 02	20	4.426	46,3	20	7.353	5.199	13,6	7,07	4330	10
	Ponto 03	40	4.426	94,3	40	7.519	5.316	13,3	7,07	4270	10
	Ponto 04	60	4.276	143,8	60	7.576	5.356	13,2	7,07	4220	10
	Ponto 05	80	4.395	192,1	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4220	10
VIGOTA 22	Ponto 01					7.519	5.316	13,3	7,07	4260	10
	Ponto 02	20	4.805	43,1	20	7.353	5.199	13,6	7,07	4350	10
	Ponto 03	40	4.247	92,9	40	7.576	5.356	13,2	7,07	4390	10
	Ponto 04	60	4.405	141,1	60	7.519	5.316	13,3	7,07	4290	10
	Ponto 05	80	4.247	190,9	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4330	10
VIGOTA 23	Ponto 01					7.576	5.356	13,2	7,07	4310	10
	Ponto 02	20	4.643	44,4	20	7.246	5.123	13,8	7,07	4310	10
	Ponto 03	40	4.154	95,2	40	7.576	5.356	13,2	7,07	4310	10
	Ponto 04	60	4.091	146,7	60	7.576	5.356	13,2	7,07	4370	10
	Ponto 05	80	4.385	195,1	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4370	10
VIGOTA 24	Ponto 01					7.194	5.086	13,9	7,07	4220	10
	Ponto 02	20	4.655	44,3	20	7.194	5.086	13,9	7,07	4290	10
	Ponto 03	40	4.219	94,4	40	7.407	5.237	13,5	7,07	4200	10
	Ponto 04	60	4.065	146,2	60	7.407	5.237	13,5	7,07	4200	10
	Ponto 05	80	4.543	193,1	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4220	10

Tabela 14 – Leitura VPU do Grupo 02 aos 56 dias.

MEDIDA 56 DIAS						
VIGOTA	MÉDIA ARITIMÉTICA DAS			RELAÇÕES		
	DIRETA	SEMI-DIR.	INDIRETA	Direta/ Indireta	Direta/ Semi-direta	indireta/ Semi-direta
VIGOTA 13	4162,00	4967,73	4090,32	1,02	0,84	0,82
VIGOTA 14	4288,00	5118,79	4046,01	1,06	0,84	0,79
VIGOTA 15	4240,00	5194,33	4170,92	1,02	0,82	0,80
VIGOTA 16	4194,00	5245,31	3459,75	1,21	0,80	0,66
VIGOTA 17	4144,00	5095,07	4148,04	1,00	0,81	0,81
VIGOTA 18	4222,00	5124,35	4108,66	1,03	0,82	0,80
VIGOTA 19	4154,00	5178,16	4106,83	1,01	0,80	0,79
VIGOTA 20	4374,00	5356,06	4338,73	1,01	0,82	0,81
VIGOTA 21	4260,00	5292,70	4380,49	0,97	0,80	0,83
VIGOTA 22	4324,00	5308,45	4425,90	0,98	0,81	0,83
VIGOTA 23	4334,00	5309,49	4318,12	1,00	0,82	0,81
VIGOTA 24	4226,00	5200,56	4370,36	0,97	0,81	0,84
Média	4243,50	5199,25	4163,68	1,02	0,82	0,80
Desvio padrão	71,73	106,67	247,37	0,06	0,01	0,05
CV (%)	1,69%	2,05%	5,94%	6,08%	1,42%	5,63%

Tabela 15 - Médias, Desvio Padrão e Variância aos 56 dias para o grupo 02.

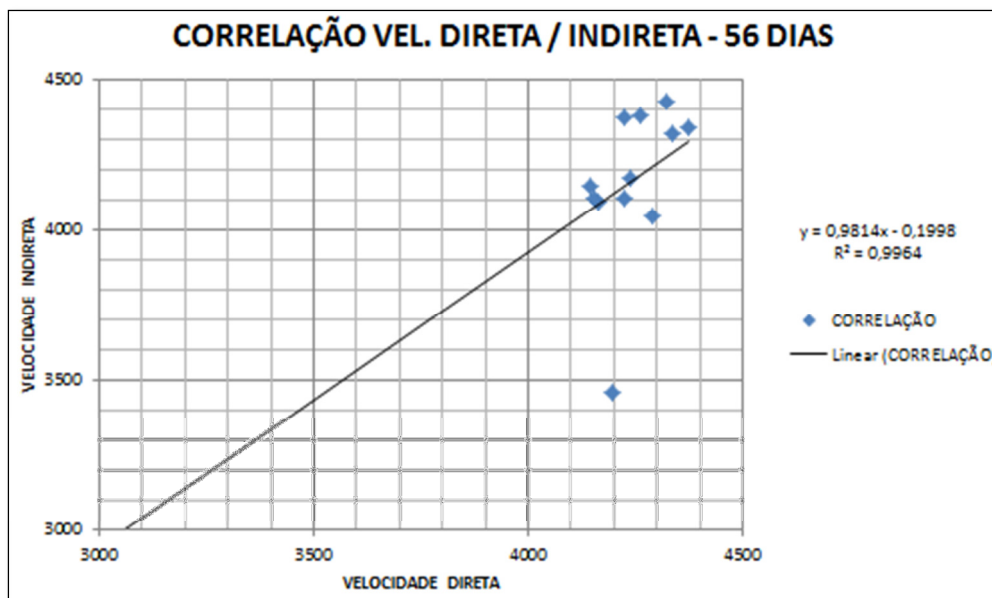


Gráfico 16– Correlação da velocidade direta/indireta aos 56 dias para o grupo 02.

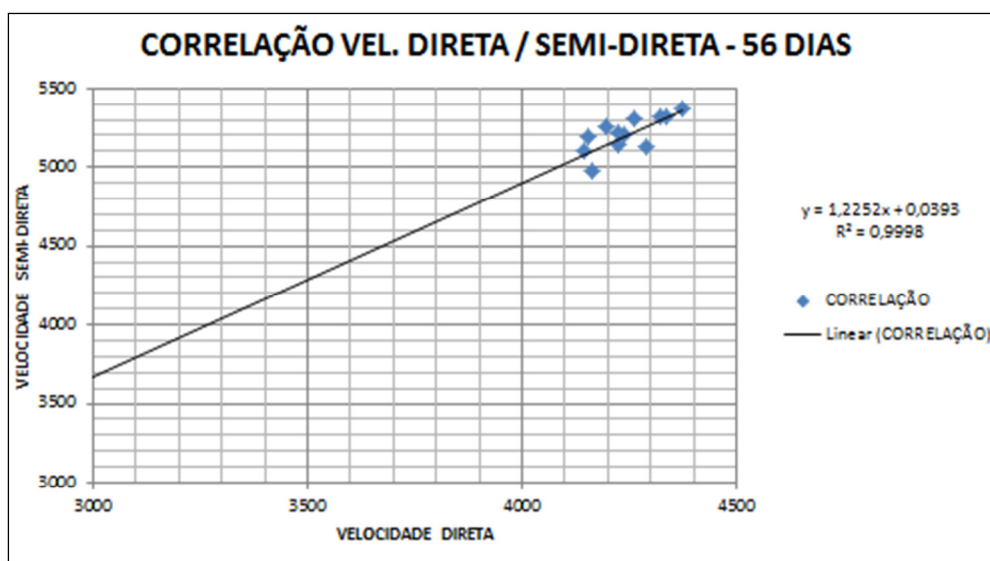


Gráfico 17- Correlação da velocidade direta/semidireta aos 56 dias para o grupo 02.

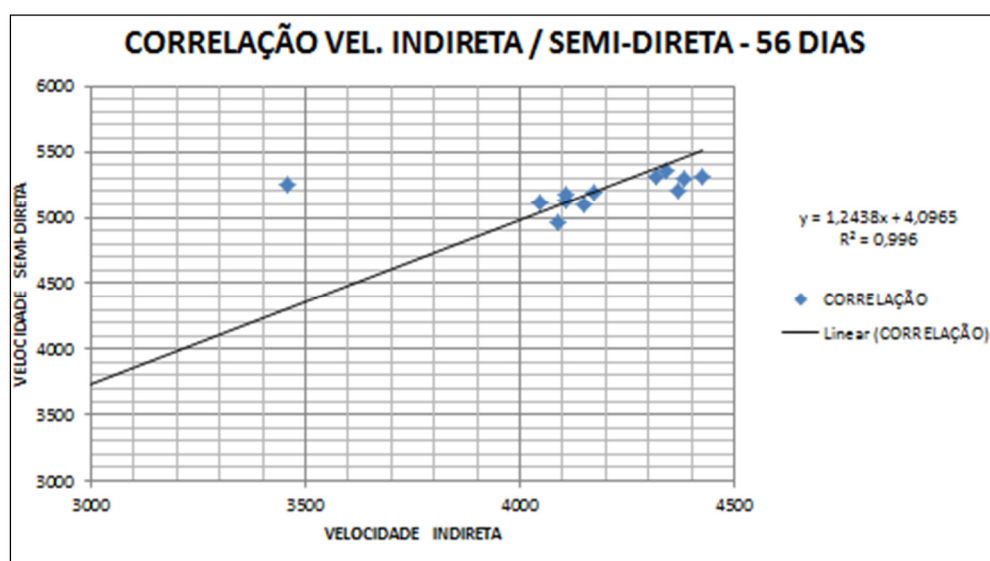


Gráfico 18- Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 56 dias para o grupo 02.

4.1.3. Grupo 03

	IDADE DO ENSAIO	07 dias	INDIRETA - LADO B			SEMIDIRET A - LADOS B/C				VUP Direta (m/s)	
	Grupo nº 3	Distancia (cm)	VUP Indireta (m/s)	Tempo (µs)	Distancia (cm)	VUP Semidireta (m/s)		Tempo (µs)	Distancia (cm)		
	VIGOTA nº	IDADE:								Lado A/B	Largura (cm)
VIGOTA 25	Ponto 01	--			--	7.353	5.199	13,6	7,07	4170	10
	Ponto 02	20	3.890	48,8	20	7.752	5.481	12,9	7,07	4180	10
	Ponto 03	40	3.544	108,1	40	7.246	5.123	13,8	7,07	4120	10
	Ponto 04	60	2.698	217,0	60	7.752	5.481	12,9	7,07	4170	10
	Ponto 05	80	2.901	268,0	80	7.407	5.237	13,5	7,07	4170	10
VIGOTA 26	Ponto 01					6.536	4.621	15,3	7,07	3980	10
	Ponto 02	20	3.840	49,5	20	6.944	4.910	14,4	7,07	4030	10
	Ponto 03	40	3.599	106,3	40	6.711	4.745	14,9	7,07	4100	10
	Ponto 04	60	3.484	165,2	60	6.849	4.842	14,6	7,07	3970	10
	Ponto 05	80	3.459	222,0	80	6.757	4.777	14,8	7,07	3860	10
VIGOTA 27	Ponto 01					6.993	4.944	14,3	7,07	4100	10
	Ponto 02	20	3.919	48,4	20	6.944	4.910	14,4	7,07	4050	10
	Ponto 03	40	3.627	105,4	40	6.623	4.682	15,1	7,07	4070	10
	Ponto 04	60	3.535	162,6	60	6.849	4.842	14,6	7,07	4120	10
	Ponto 05	80	3.562	215,0	80	6.803	4.810	14,7	7,07	4050	10
VIGOTA 28	Ponto 01					6.944	4.910	14,4	7,07	4200	10
	Ponto 02	20	3.840	49,5	20	6.757	4.777	14,8	7,07	4240	10
	Ponto 03	40	3.757	101,4	40	7.143	5.050	14,0	7,07	4180	10
	Ponto 04	60	3.728	153,4	60	7.576	5.356	13,2	7,07	4350	10
	Ponto 05	80	3.688	207,0	80	7.353	5.199	13,6	7,07	4240	10
VIGOTA 29	Ponto 01					6.536	4.621	15,3	7,07	4240	10
	Ponto 02	20	3.882	48,9	20	6.711	4.745	14,9	7,07	4310	10
	Ponto 03	40	3.688	103,5	40	7.194	5.086	13,9	7,07	4460	10
	Ponto 04	60	3.598	159,5	60	6.579	4.651	15,2	7,07	4310	10
	Ponto 05	80	3.640	210,0	80	6.849	4.842	14,6	7,07	4240	10
VIGOTA 30	Ponto 01					6.849	4.842	14,6	7,07	3940	10
	Ponto 02	20	3.919	48,4	20	7.407	5.237	13,5	7,07	3800	10
	Ponto 03	40	3.688	103,5	40	7.299	5.161	13,7	7,07	3950	10
	Ponto 04	60	3.573	160,7	60	7.519	5.316	13,3	7,07	3950	10
	Ponto 05	80	3.675	213,0	80	7.519	5.316	13,3	7,07	4030	10
VIGOTA 31	Ponto 01					6.849	4.842	14,6	7,07	4170	10
	Ponto 02	20	3.985	47,5	20	7.092	5.014	14,1	7,07	4170	10
	Ponto 03	40	3.737	102,0	40	6.993	4.944	14,3	7,07	4120	10
	Ponto 04	60	3.623	158,3	60	6.803	4.810	14,7	7,07	4130	10
	Ponto 05	80	2.851	273,0	80	6.369	4.503	15,7	7,07	4070	10
VIGOTA 32	Ponto 01					6.993	4.944	14,3	7,07	4150	10
	Ponto 02	20	3.985	47,5	20	6.849	4.842	14,6	7,07	4120	10
	Ponto 03	40	3.731	102,2	40	6.993	4.944	14,3	7,07	4200	10
	Ponto 04	60	3.163	183,3	60	6.993	4.944	14,3	7,07	4170	10
	Ponto 05	80	2.911	267,0	80	7.246	5.123	13,8	7,07	4170	10
VIGOTA 33	Ponto 01					6.897	4.876	14,5	7,07	4100	10
	Ponto 02	20	3.926	48,3	20	7.092	5.014	14,1	7,07	4150	10
	Ponto 03	40	3.767	101,1	40	7.194	5.086	13,9	7,07	4140	10
	Ponto 04	60	3.674	155,9	60	7.194	5.086	13,9	7,07	4000	10
	Ponto 05	80	2.911	267,0	80	7.299	5.161	13,7	7,07	4020	10
VIGOTA 34	Ponto 01					7.246	5.123	13,8	7,07	4370	10
	Ponto 02	20	3.948	48,0	20	7.299	5.161	13,7	7,07	4180	10
	Ponto 03	40	3.688	103,5	40	7.194	5.086	13,9	7,07	4070	10
	Ponto 04	60	3.702	154,6	60	7.752	5.481	12,9	7,07	4260	10
	Ponto 05	80	2.932	265,0	80	7.752	5.481	12,9	7,07	4330	10
VIGOTA 35	Ponto 01					7.353	5.199	13,6	7,07	4330	10
	Ponto 02	20	3.897	48,7	20	7.752	5.481	12,9	7,07	4180	10
	Ponto 03	40	3.698	103,2	40	7.752	5.481	12,9	7,07	4170	10
	Ponto 04	60	3.644	157,3	60	7.407	5.237	13,5	7,07	4220	10
	Ponto 05	80	2.901	268,0	80	7.692	5.438	13,0	7,07	4330	10
VIGOTA 36	Ponto 01					7.407	5.237	13,5	7,07	4170	10
	Ponto 02	20	4.093	46,1	20	7.752	5.481	12,9	7,07	4270	10
	Ponto 03	40	3.805	100,0	40	7.407	5.237	13,5	7,07	4170	10
	Ponto 04	60	3.711	154,2	60	7.752	5.481	12,9	7,07	4260	10
	Ponto 05	80	3.672	208,0	80	7.634	5.397	13,1	7,07	4180	10

Tabela 16 – Leitura VPU do Grupo 03 aos 07 dias.

MEDIDA 7 DIAS						
VIGOTA	MÉDIA ARITIMÉTICA DAS			RELAÇÕES		
	DIRETA	SEMI-DIR.	INDIRETA	Direta/ Indireta	Direta/ Semi-direta	indireta/ Semi-direta
VIGOTA 25	4162,00	5304,00	3258,02	1,28	0,78	0,61
VIGOTA 26	3988,00	4779,02	3595,36	1,11	0,83	0,75
VIGOTA 27	4078,00	4837,58	3660,73	1,11	0,84	0,76
VIGOTA 28	4242,00	5058,27	3753,38	1,13	0,84	0,74
VIGOTA 29	4312,00	4789,20	3702,03	1,16	0,90	0,77
VIGOTA 30	3934,00	5174,33	3713,68	1,06	0,76	0,72
VIGOTA 31	4132,00	4822,68	3549,01	1,16	0,86	0,74
VIGOTA 32	4162,00	4959,56	3447,59	1,21	0,84	0,70
VIGOTA 33	4082,00	5044,66	3569,59	1,14	0,81	0,71
VIGOTA 34	4242,00	5266,27	3567,43	1,19	0,81	0,68
VIGOTA 35	4246,00	5367,05	3534,84	1,20	0,79	0,66
VIGOTA 36	4210,00	5366,45	3820,23	1,10	0,78	0,71
Média	4149,17	5064,09	3597,66	1,16	0,82	0,71
Desvio padrão	107,74	218,24	143,76	0,06	0,04	0,04
CV (%)	2,60%	4,31%	4,00%	4,85%	4,52%	6,12%

Tabela 17 - Médias, Desvio Padrão e Variância aos 07 dias para o grupo 03.

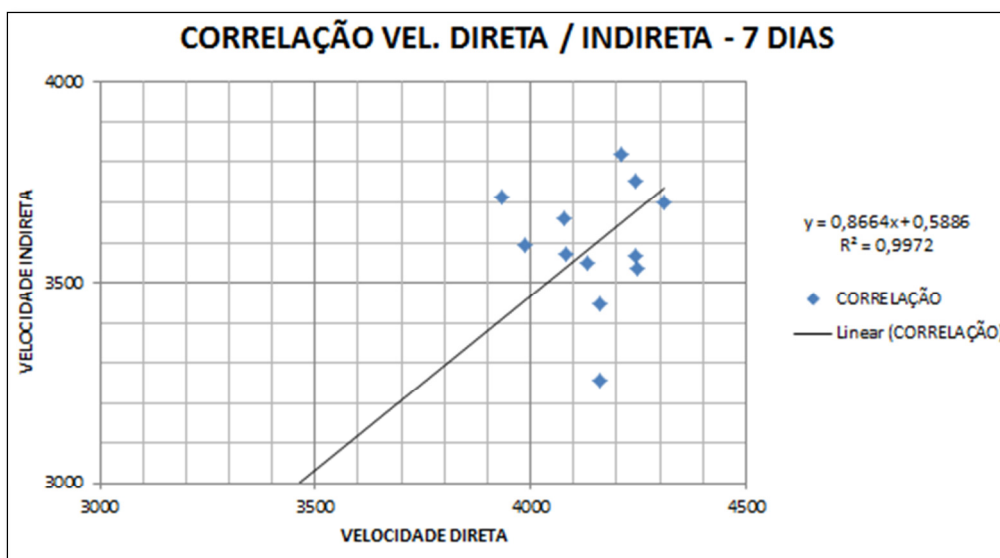


Gráfico 19 - Correlação da velocidade direta/indireta aos 07 dias para o grupo 03.

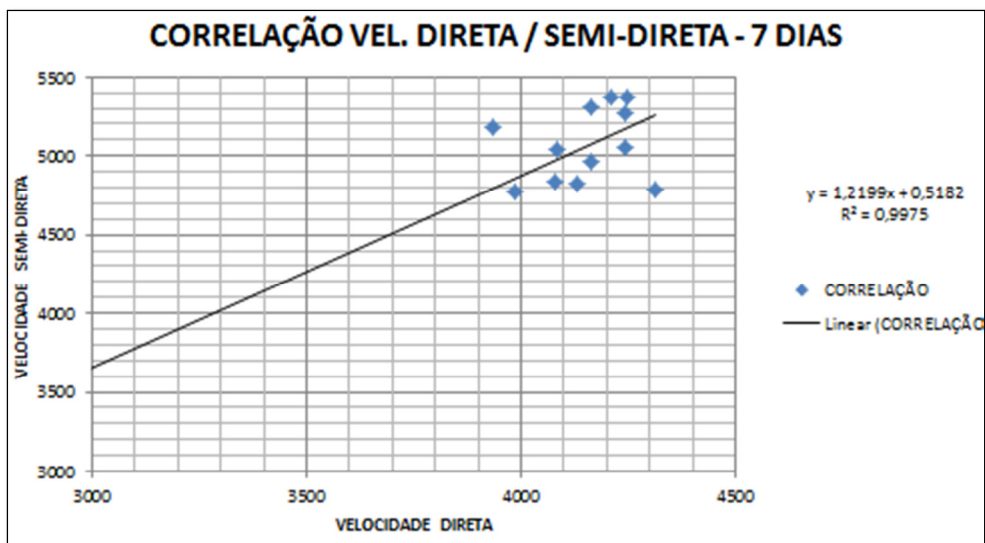


Gráfico 20 - Correlação da velocidade direta/semidireta aos 07 dias para o grupo 03.

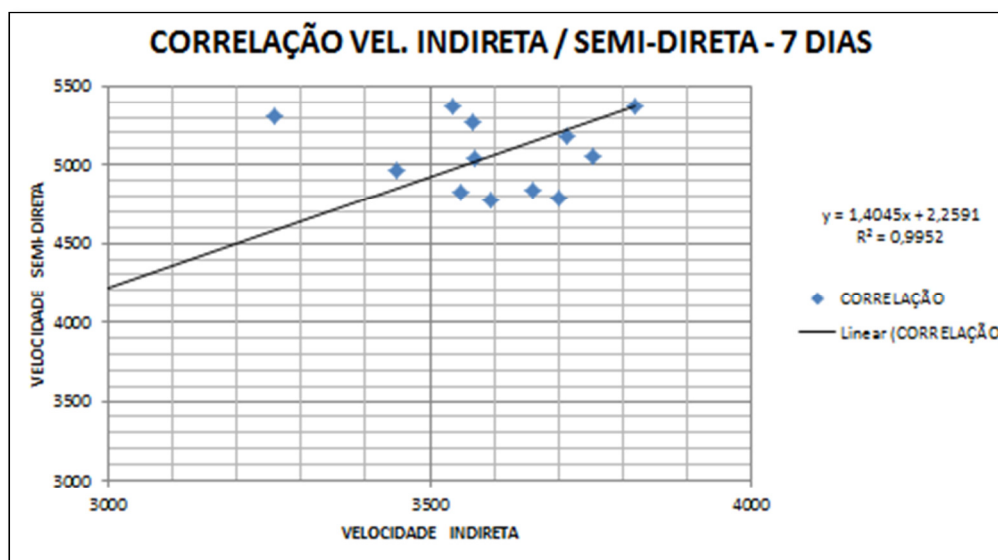


Gráfico 21 - Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 07 dias para o grupo 03.

	IDADE DO ENSAIO	28 dias	INDIRETA - LADO B			SEMIDIRET A - LADOS B/C				VUP Direta (m/s)	
	Grupo nº 3	Distancia (cm)	VUP Indireta (m/s)	Tempo (µs)	Distancia (cm)	VUP Semidireta (m/s)		Tempo (µs)	Distancia (cm)		
										Lado A/B	Largura (cm)
VIGOTA 25	Ponto 01	--			--	6.711	4.745	14,9	7,07	4170	10
	Ponto 02	20	3.854	49,3	20	6.757	4.777	14,8	7,07	4200	10
	Ponto 03	40	3.659	104,4	40	6.849	4.842	14,6	7,07	4120	10
	Ponto 04	60	3.596	159,6	60	6.993	4.944	14,3	7,07	4180	10
	Ponto 05	80	3.051	254,0	80	7.463	5.276	13,4	7,07	4240	10
VIGOTA 26	Ponto 01					6.757	4.777	14,8	7,07	4100	10
	Ponto 02	20	4.008	47,2	20	6.993	4.944	14,3	7,07	4130	10
	Ponto 03	40	3.596	106,4	40	6.944	4.910	14,4	7,07	4260	10
	Ponto 04	60	2.758	212,0	60	6.993	4.944	14,3	7,07	4130	10
	Ponto 05	80	2.942	264,0	80	6.803	4.810	14,7	7,07	4030	10
VIGOTA 27	Ponto 01					7.407	5.237	13,5	7,07	4260	10
	Ponto 02	20	4.000	47,3	20	6.993	4.944	14,3	7,07	4240	10
	Ponto 03	40	3.754	101,5	40	6.757	4.777	14,8	7,07	4290	10
	Ponto 04	60	3.702	154,6	60	7.194	5.086	13,9	7,07	4350	10
	Ponto 05	80	3.754	203,0	80	7.143	5.050	14,0	7,07	4170	10
VIGOTA 28	Ponto 01					7.143	5.050	14,0	7,07	4270	10
	Ponto 02	20	3.948	48,0	20	6.944	4.910	14,4	7,07	4410	10
	Ponto 03	40	3.865	98,3	40	7.246	5.123	13,8	7,07	4310	10
	Ponto 04	60	3.882	146,7	60	7.576	5.356	13,2	7,07	4370	10
	Ponto 05	80	3.882	195,6	80	7.407	5.237	13,5	7,07	4370	10
VIGOTA 29	Ponto 01					7.042	4.979	14,2	7,07	4310	10
	Ponto 02	20	3.955	47,9	20	6.944	4.910	14,4	7,07	4440	10
	Ponto 03	40	3.829	99,3	40	7.246	5.123	13,8	7,07	4480	10
	Ponto 04	60	3.775	151,3	60	6.993	4.944	14,3	7,07	4410	10
	Ponto 05	80	3.826	198,8	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4290	10
VIGOTA 30	Ponto 01					7.042	4.979	14,2	7,07	4180	10
	Ponto 02	20	3.985	47,5	20	7.353	5.199	13,6	7,07	4150	10
	Ponto 03	40	3.829	99,3	40	7.246	5.123	13,8	7,07	4170	10
	Ponto 04	60	3.775	151,3	60	7.353	5.199	13,6	7,07	4150	10
	Ponto 05	80	3.873	201,0	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4220	10
VIGOTA 31	Ponto 01					7.194	5.086	13,9	7,07	4310	10
	Ponto 02	20	4.141	45,5	20	7.299	5.161	13,7	7,07	4270	10
	Ponto 03	40	3.952	95,9	40	7.576	5.356	13,2	7,07	4290	10
	Ponto 04	60	3.856	147,8	60	7.092	5.014	14,1	7,07	4350	10
	Ponto 05	80	3.771	202,0	80	7.042	4.979	14,2	7,07	4310	10
VIGOTA 32	Ponto 01					6.849	4.842	14,6	7,07	4370	10
	Ponto 02	20	4.078	46,3	20	7.246	5.123	13,8	7,07	4390	10
	Ponto 03	40	3.865	98,3	40	7.143	5.050	14,0	7,07	4410	10
	Ponto 04	60	3.831	148,9	60	7.194	5.086	13,9	7,07	4410	10
	Ponto 05	80	3.829	198,6	80	7.143	5.050	14,0	7,07	4330	10
VIGOTA 33	Ponto 01					6.849	4.842	14,6	7,07	4240	10
	Ponto 02	20	4.093	46,1	20	7.246	5.123	13,8	7,07	4390	10
	Ponto 03	40	3.908	97,1	40	7.143	5.050	14,0	7,07	4440	10
	Ponto 04	60	3.897	146,1	60	7.194	5.086	13,9	7,07	4260	10
	Ponto 05	80	3.854	197,2	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4200	10
VIGOTA 34	Ponto 01					7.463	5.276	13,4	7,07	4410	10
	Ponto 02	20	4.191	44,9	20	7.353	5.199	13,6	7,07	4310	10
	Ponto 03	40	3.861	98,4	40	7.246	5.123	13,8	7,07	4150	10
	Ponto 04	60	3.868	147,3	60	7.407	5.237	13,5	7,07	4310	10
	Ponto 05	80	3.891	195,1	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4330	10
VIGOTA 35	Ponto 01					6.944	4.910	14,4	7,07	4410	10
	Ponto 02	20	4.062	46,5	20	7.092	5.014	14,1	7,07	4330	10
	Ponto 03	40	3.822	99,5	40	7.576	5.356	13,2	7,07	4180	10
	Ponto 04	60	3.773	151,4	60	6.993	4.944	14,3	7,07	4270	10
	Ponto 05	80	3.771	202,0	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4310	10
VIGOTA 36	Ponto 01					7.576	5.356	13,2	7,07	4220	10
	Ponto 02	20	4.109	45,9	20	7.576	5.356	13,2	7,07	4260	10
	Ponto 03	40	3.861	98,4	40	7.353	5.199	13,6	7,07	4150	10
	Ponto 04	60	3.814	149,6	60	7.299	5.161	13,7	7,07	4290	10
	Ponto 05	80	3.812	199,6	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4180	10

Tabela 18– Leitura VPU do Grupo 03 aos 28 dias.

MEDIDA 28 DIAS						
VIGOTA	MÉDIA ARITIMÉTICA DAS			RELAÇÕES		
	DIRETA	SEMI-DIR.	INDIRETA	Direta/ Indireta	Direta/ Semi-direta	indireta/ Semi-direta
VIGOTA 25	4182,00	4916,93	3540,00	1,18	0,85	0,72
VIGOTA 26	4130,00	4876,88	3326,07	1,24	0,85	0,68
VIGOTA 27	4262,00	5018,89	3802,60	1,12	0,85	0,76
VIGOTA 28	4346,00	5135,20	3894,31	1,12	0,85	0,76
VIGOTA 29	4386,00	5062,38	3846,48	1,14	0,87	0,76
VIGOTA 30	4174,00	5171,04	3865,87	1,08	0,81	0,75
VIGOTA 31	4306,00	5119,21	3930,04	1,10	0,84	0,77
VIGOTA 32	4382,00	5030,40	3900,49	1,12	0,87	0,78
VIGOTA 33	4306,00	5091,61	3937,92	1,09	0,85	0,77
VIGOTA 34	4302,00	5238,19	3952,75	1,09	0,82	0,75
VIGOTA 35	4300,00	5116,02	3857,07	1,11	0,84	0,75
VIGOTA 36	4220,00	5285,46	3899,12	1,08	0,80	0,74
Média	4274,67	5088,52	3812,73	1,12	0,84	0,75
Desvio padrão	79,14	113,66	179,84	0,04	0,02	0,02
CV (%)	1,85%	2,23%	4,72%	4,00%	2,46%	3,32%

Tabela 19 - Médias, Desvio Padrão e Variância aos 28 dias para o grupo 03.

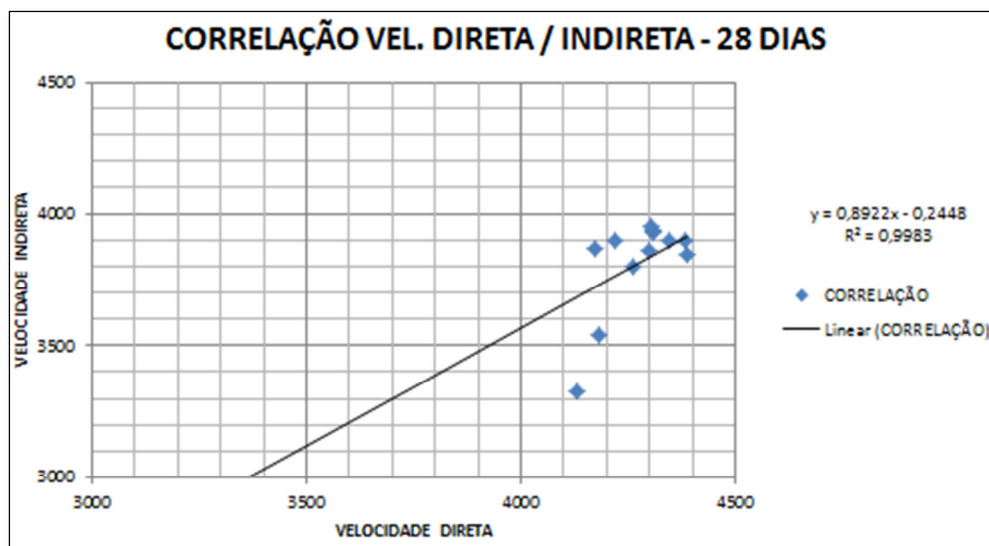


Gráfico 22 - Correlação da velocidade direta/indireta aos 28 dias para o grupo 03.

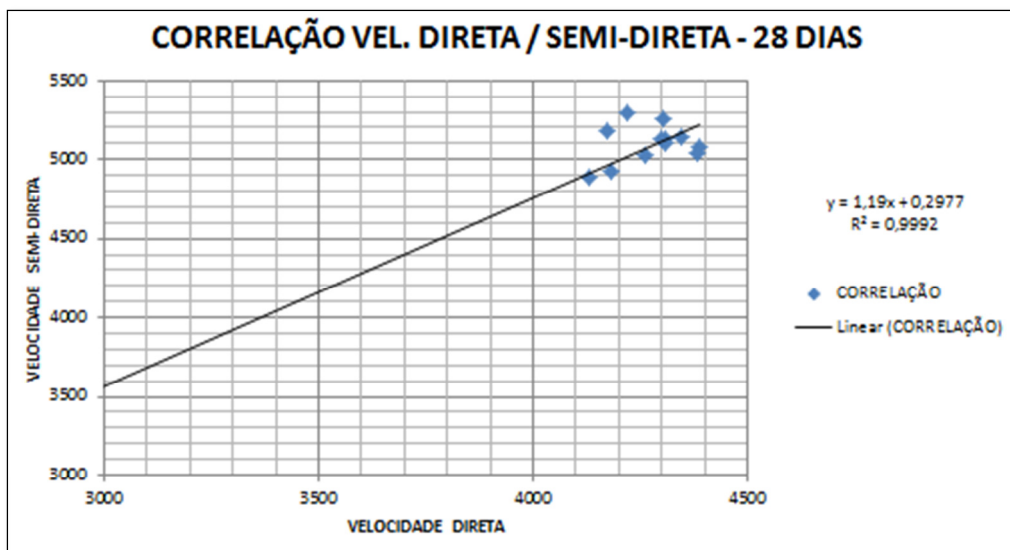


Gráfico 23 - Correlação da velocidade direta/semidireta aos 28 dias para o grupo 03.

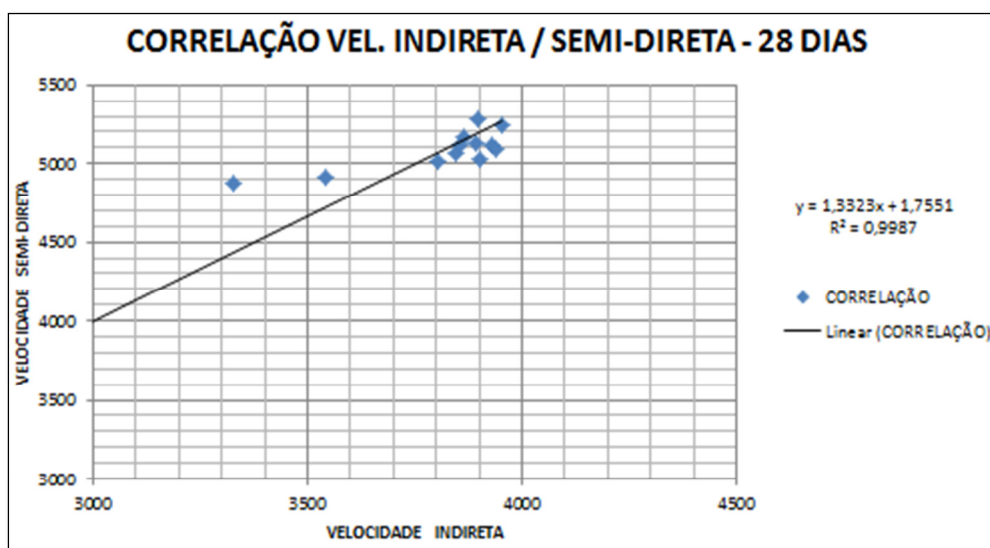


Gráfico 24 - Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 28 dias para o grupo 03.

	IDADE DO ENSAIO	56 dias	INDIRETA - LADO B			SEMIDIRET				VUP	
	Grupo nº 3	Distancia (cm)	VUP Indireta	(m/s)	Tempo (µs)	Distancia (cm)	VUP Semidireta (m/s)		Tempo (µs)	Distancia (cm)	
											Lado A/B
											Largura (cm)
VIGOTA 25	Ponto 01	--				--	6.993	4.944	14,3	7,07	4210
	Ponto 02	20	4.016	47,1	20	7.194	5.086	13,9	7,07	4260	10
	Ponto 03	40	3.764	101,2	40	7.246	5.123	13,8	7,07	4280	10
	Ponto 04	60	3.646	157,2	60	7.246	5.123	13,8	7,07	4240	10
	Ponto 05	80	3.097	250,0	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4280	10
VIGOTA 26	Ponto 01						7.042	4.979	14,2	7,07	4210
	Ponto 02	20	4.166	45,2	20	7.246	5.123	13,8	7,07	4180	10
	Ponto 03	40	3.724	102,4	40	7.246	5.123	13,8	7,07	4300	10
	Ponto 04	60	2.808	208,0	60	7.194	5.086	13,9	7,07	4280	10
	Ponto 05	80	2.942	264,0	80	7.246	5.123	13,8	7,07	4120	10
VIGOTA 27	Ponto 01						7.463	5.276	13,4	7,07	4290
	Ponto 02	20	4.224	44,5	20	7.194	5.086	13,9	7,07	4290	10
	Ponto 03	40	3.868	98,2	40	7.092	5.014	14,1	7,07	4320	10
	Ponto 04	60	3.819	149,4	60	7.299	5.161	13,7	7,07	4380	10
	Ponto 05	80	3.788	201,0	80	7.463	5.276	13,4	7,07	4210	10
VIGOTA 28	Ponto 01						7.463	5.276	13,4	7,07	4310
	Ponto 02	20	4.085	46,2	20	7.246	5.123	13,8	7,07	4420	10
	Ponto 03	40	3.933	96,4	40	7.463	5.276	13,4	7,07	4380	10
	Ponto 04	60	3.988	142,4	60	7.576	5.356	13,2	7,07	4380	10
	Ponto 05	80	3.908	194,2	80	7.463	5.276	13,4	7,07	4390	10
VIGOTA 29	Ponto 01						7.353	5.199	13,6	7,07	4410
	Ponto 02	20	4.141	45,5	20	7.463	5.276	13,4	7,07	4440	10
	Ponto 03	40	3.904	97,2	40	7.463	5.276	13,4	7,07	4500	10
	Ponto 04	60	3.807	149,9	60	7.353	5.199	13,6	7,07	4480	10
	Ponto 05	80	3.856	197,1	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4380	10
VIGOTA 30	Ponto 01						7.143	5.050	14,0	7,07	4310
	Ponto 02	20	4.149	45,4	20	7.463	5.276	13,4	7,07	4300	10
	Ponto 03	40	3.893	97,5	40	7.463	5.276	13,4	7,07	4290	10
	Ponto 04	60	3.826	149,1	60	7.353	5.199	13,6	7,07	4280	10
	Ponto 05	80	3.909	199,0	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4310	10
VIGOTA 31	Ponto 01						7.407	5.237	13,5	7,07	4400
	Ponto 02	20	4.258	44,1	20	7.576	5.356	13,2	7,07	4380	10
	Ponto 03	40	3.981	95,1	40	7.576	5.356	13,2	7,07	4370	10
	Ponto 04	60	3.904	145,8	60	7.463	5.276	13,4	7,07	4410	10
	Ponto 05	80	3.805	200,0	80	7.407	5.237	13,5	7,07	4390	10
VIGOTA 32	Ponto 01						7.042	4.979	14,2	7,07	4410
	Ponto 02	20	4.249	44,2	20	7.407	5.237	13,5	7,07	4420	10
	Ponto 03	40	3.904	97,2	40	7.407	5.237	13,5	7,07	4440	10
	Ponto 04	60	3.866	147,4	60	7.519	5.316	13,3	7,07	4440	10
	Ponto 05	80	3.836	198,2	80	7.463	5.276	13,4	7,07	4430	10
VIGOTA 33	Ponto 01						7.143	5.050	14,0	7,07	4310
	Ponto 02	20	4.215	44,6	20	7.407	5.237	13,5	7,07	4410	10
	Ponto 03	40	3.944	96,1	40	7.407	5.237	13,5	7,07	4440	10
	Ponto 04	60	3.919	145,2	60	7.519	5.316	13,3	7,07	4310	10
	Ponto 05	80	3.857	197,0	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4260	10
VIGOTA 34	Ponto 01						7.576	5.356	13,2	7,07	4440
	Ponto 02	20	4.258	44,1	20	7.576	5.356	13,2	7,07	4410	10
	Ponto 03	40	3.882	97,8	40	7.463	5.276	13,4	7,07	4320	10
	Ponto 04	60	3.919	145,2	60	7.576	5.356	13,2	7,07	4380	10
	Ponto 05	80	3.930	193,0	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4400	10
VIGOTA 35	Ponto 01						7.246	5.123	13,8	7,07	4430
	Ponto 02	20	4.199	44,8	20	7.246	5.123	13,8	7,07	4410	10
	Ponto 03	40	3.908	97,1	40	7.463	5.276	13,4	7,07	4310	10
	Ponto 04	60	3.828	149,0	60	7.353	5.199	13,6	7,07	4300	10
	Ponto 05	80	3.819	199,2	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4330	10
VIGOTA 36	Ponto 01						7.576	5.356	13,2	7,07	4310
	Ponto 02	20	4.249	44,2	20	7.576	5.356	13,2	7,07	4320	10
	Ponto 03	40	3.890	97,6	40	7.576	5.356	13,2	7,07	4300	10
	Ponto 04	60	3.870	147,2	60	7.463	5.276	13,4	7,07	4330	10
	Ponto 05	80	3.824	198,9	80	7.576	5.356	13,2	7,07	4290	10

Tabela 20– Leitura VPU do Grupo 03 aos 56 dias.

MEDIDA 56 DIAS						
VIGOTA	MÉDIA ARITIMÉTICA DAS			RELAÇÕES		
	DIRETA	SEMI-DIR.	INDIRETA	Direta/ Indireta	Direta/ Semi-direta	indireta/ Semi-direta
VIGOTA 25	4254,00	5126,56	3630,71	1,17	0,83	0,71
VIGOTA 26	4218,00	5086,95	3410,13	1,24	0,83	0,67
VIGOTA 27	4298,00	5162,67	3924,69	1,10	0,83	0,76
VIGOTA 28	4376,00	5261,52	3978,49	1,10	0,83	0,76
VIGOTA 29	4442,00	5261,07	3927,11	1,13	0,84	0,75
VIGOTA 30	4298,00	5231,37	3944,28	1,09	0,82	0,75
VIGOTA 31	4390,00	5292,46	3987,06	1,10	0,83	0,75
VIGOTA 32	4428,00	5208,97	3963,82	1,12	0,85	0,76
VIGOTA 33	4346,00	5239,18	3983,92	1,09	0,83	0,76
VIGOTA 34	4390,00	5340,07	3997,04	1,10	0,82	0,75
VIGOTA 35	4356,00	5215,42	3938,38	1,11	0,84	0,76
VIGOTA 36	4310,00	5340,07	3958,35	1,09	0,81	0,74
Média	4342,17	5230,53	3887,00	1,12	0,83	0,74
Desvio padrão	65,44	74,46	171,49	0,04	0,01	0,03
CV (%)	1,51%	1,42%	4,41%	3,76%	1,25%	3,48%

Tabela 21- Médias, Desvio Padrão e Variância aos 56 dias para o grupo 03.

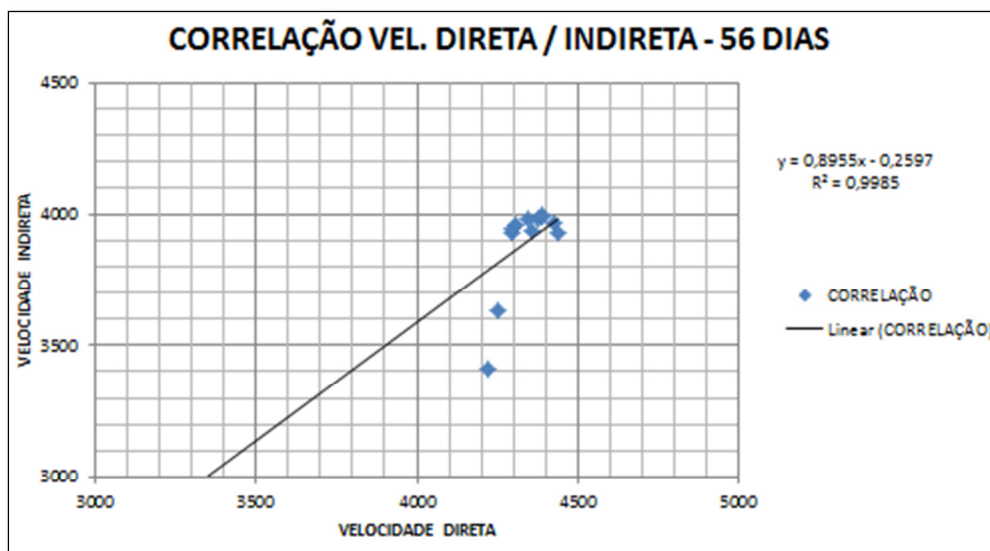


Gráfico 25 - Correlação da velocidade direta/indireta aos 56 dias para o grupo 03.

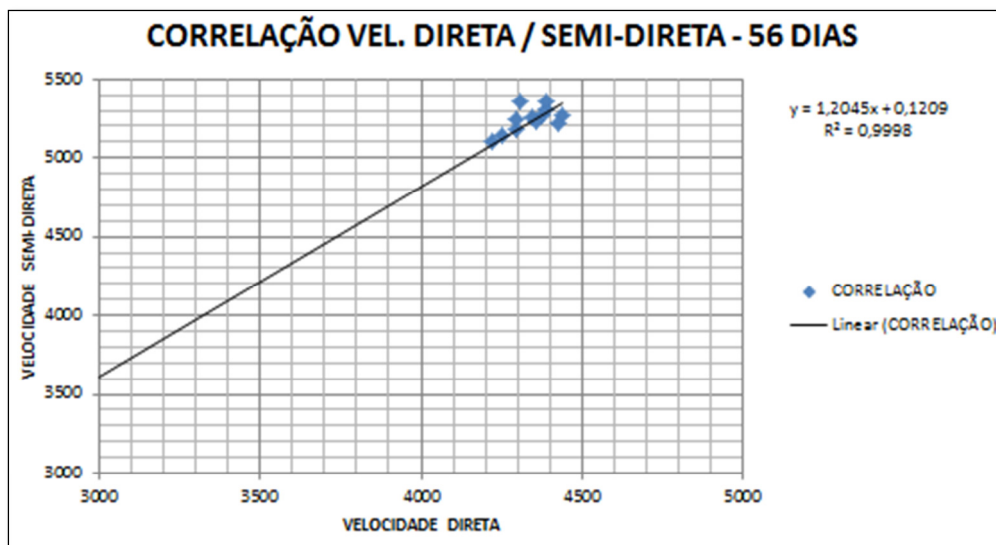


Gráfico 26- Correlação da velocidade direta/semidireta aos 56 dias para o grupo 03.

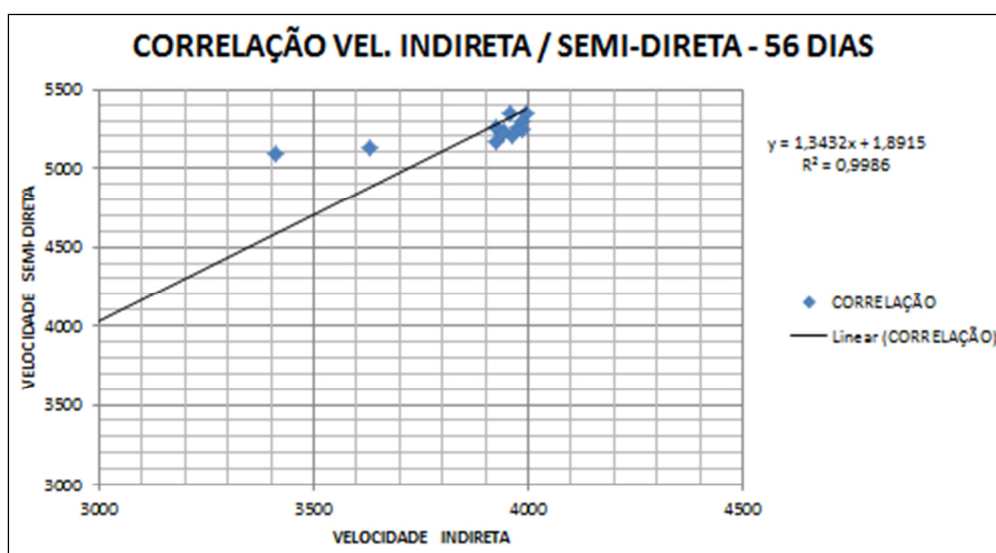


Gráfico 27- Correlação da velocidade indireta/semidireta aos 56 dias para o grupo 03.

4.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.2.1. Grupo 1

De acordo com a Tabela 5, podemos observar que o coeficiente de variância foi de 1,68% para as medidas diretas, 6,15% para as medidas semidiretas e 7,01% para as medidas indiretas aos 7 dias. Os valores mais altos do coeficiente de variância (CV acima de 5%) encontrados nas medidas indiretas e semidiretas ocorrem devido às baixas medidas de velocidade encontradas no ponto 5 da vigota 3, nos pontos 3 e 5 da vigota 4 e ponto 4 da vigota 5, exibidas na Tabela 4, tanto nas medidas indiretas como nas semidiretas, provavelmente causadas pelo processo de formação dos cristais de hidratação do cimento do concreto.

Aos 28 dias, conforme a Tabela 7, podemos observar que o coeficiente de variância foi de 1,78% para as medidas diretas, 1,26% para as medidas semidiretas e 1,65% para as medidas indiretas, indicando alta confiabilidade nas medidas e homogeneidade das amostras. As baixas medidas de velocidade encontradas na medição aos 7 dias ficaram mais próximas da média aos 28 dias, indicando que o método é mais confiável à medida que o concreto envelhece.

Na Tabela 9, podemos observar que o coeficiente de variância foi de 1,78% para as medidas diretas, 0,36% para as medidas semidiretas e 1,52% para as medidas indiretas, ficando muito próximo do coeficiente medido aos 28 dias.

Já as correlações entre as medidas diretas/indiretas ficaram num intervalo entre os coeficientes 1,09 e 1,12, as relações diretas/semidiretas entre 0,84 e 0,86 e as indiretas/semidiretas entre 0,77 e 0,78 e seus coeficientes correlação cada vez mais próximos de 1 à medida que a idade do concreto aumenta.

4.2.2. Grupo 2

De acordo com a Tabela 11, podemos observar que o coeficiente de variância foi de 1,79% para as medidas diretas, 2,76 % para as medidas semidiretas e 6,39% para as medidas indiretas aos 7 dias. Os valores mais altos do CV (acima de 5%) encontrados nas medidas indiretas exibidas na Tabela 10 ocorrem devido às baixas medidas de velocidade encontradas no ponto 4 da vigota 14 e no ponto 5 da vigota 16, assim como ocorrido no lote anterior uma causa provável seria o processo de formação dos cristais do cimento no concreto. Já o ponto 4 das vigotas 20, 21, 22 e 23 e o ponto 5 da vigota (também nas medidas indiretas) apresentam medidas consideravelmente menores se comparado com as demais encontradas em todo o lote.

Aos 28 dias, na Tabela 13, observa-se que o coeficiente de variância foi de 1,65% para as medidas diretas, 2,51 % para as medidas semidiretas e 3,0 % para as medidas indiretas. A diminuição dos CV foram causados principalmente pelo aumento das medidas de velocidade que estavam fora da média aos 7 dias conforme citado.

Para os 56 dias, na Tabela 15, podemos observar que o coeficiente de variância foi de 1,69 % para as medidas diretas, 2,51 % para as medidas semidiretas e 3,0 % para as medidas indiretas. Porém era esperado que o coeficiente de variância aos 56 dias fosse menor que dos 28 dias. Visualizando a Tabela 14 percebemos que este resultado aconteceu em decorrência das velocidades baixas encontradas nos pontos 3 e 4 da vigota 16 na medida indireta devido a uma fissura entre os pontos, decorrido das movimentações durante execução dos ensaios.

Já as correlações entre as medidas diretas/indiretas ficaram num intervalo entre os coeficientes 1,14 e 1,02, as relações diretas/semidiretas entre 0,81 e 0,82 e as indiretas/semidiretas entre 0,72 e 0,79. O grande intervalo nas relações diretas/indiretas e indiretas/semidiretas foram ocasionados pelas

variâncias nas medidas indiretas aos 07 e 56 dias, conforme já explanado. O fato refletiu conseqüentemente nos resultados do gráfico de dispersão, que diferentemente dos resultados do primeiro grupo que mostra os coeficientes de correlação mais próximos a 1 somente aos 28 dias.

4.2.3. Grupo 3

Tabela 17, podemos observar que o coeficiente de variância foi de 2,60% para as medidas diretas, 4,31 % para as medidas semidiretas e 4,0% para as medidas indiretas aos 7 dias. Apesar de serem encontradas variâncias abaixo de 5% existem 5 valores discrepantes na medida indireta como pode ser visto na Tabela 16 nos pontos 5 das vigotas 31, 32, 33, 34 e 35.

Aos 28 dias, na Tabela 19, podemos observar que o coeficiente de variância foi de 1,85 % para as medidas diretas, 2,23 % para as medidas semidiretas e 4,72 % para as medidas indiretas, indicando maior confiabilidade nas medições diretas e semidiretas devido à diminuição dos CV em relação aos 7 dias. Já as medidas indiretas mantiveram-se na faixa dos 4% mesmo com as velocidades anômalas encontradas aos 7 dias estarem se naturalmente se ajustando na média encontrada. Porém notou-se que os pontos 4 e 5 da vigota 26 apresentou velocidades baixas na tomada de medida indireta contribuindo para que o CV na medida indireta se mantivesse aos 4%.

Para os 56 dias, conforme a Tabela 21, podemos observar que o coeficiente de variância foi de 1,51 % para as medidas diretas, 1,42 % para as medidas semidiretas e 4,41 % para as medidas indiretas. É importante observar que as medidas indiretas mantiveram na faixa dos 4% devido a repetição das ocorrências registradas aos 28 dias.

As correlações entre as medidas diretas/indiretas ficaram num intervalo entre os coeficientes 1,12 e 1,16, as relações diretas/semidiretas entre 0,82 e 0,84 e as indiretas/semidiretas entre 0,71 e 0,75. O grande intervalo nas

relações diretas/indiretas foi ocasionado pelas discrepâncias das medidas indiretas aos 07, 28 e 56 dias.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que para todos os traços as medidas realizadas de modo direto mantiveram-se estáveis. As medições indiretas foram as que mais variaram, fazendo aumentar o CV em até 7,01%. Esse efeito parece ocorrer independentemente das imperfeições introduzidas nas vigotas e necessitam de maiores estudos para que se descubram as causas.

De modo geral, nota-se que o coeficiente de variância da amostragem diminui em relação à idade do concreto, alcançando variâncias mais baixas aos 56 dias.

Quanto às correlações das VPU, objetivo do presente trabalho, confirma-se a correlação entre as medidas direta/indireta, citada no Ultrasonic Pulse Velocity Test Technical Reference Manual CNS Farnell como próxima a 1,05.

Com relação às medidas direta/semidireta e indireta/semidireta confirma-se que à medida que o concreto envelhece a relação torna-se mais confiável conforme visto nos gráficos de dispersão.

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomendamos uma pesquisa mais aprofundada para descobrir o porquê da série de resultados anômalos durante as medições executadas de forma indireta.

Outra ideia de trabalho seria a continuação da presente pesquisa, onde as vigotas com simulações de imperfeições seriam utilizadas dissolvendo o EPS em seu interior a fim de descobrir o efeito que esses nichos e vazios provocariam nas leituras VPU.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, A .F. AND AL-TAYYIB, A.J.,Effect of hot weather on pulse velocity andmodulus of elasticity of concrete.In: **Material andStructures**. 1990,n.23, pp. 334-340.

ANDRADE, T., Tópicos sobre Durabilidade do Concreto. In:ISAIA, G. C. (Editor), **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005, cap.25, vol.1, p.723-792.

ANDREUCCI, R. **Ensaio por ultrassom**.São Paulo: ABENDI, 2011.

ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, **ASTM E 114- Standard Practice for Ultrasonic Pulse-Echo Straight-Beam Examination by the Contact Method**, USA, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802 – Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica: Método de Ensaio**.Rio de Janeiro, 2013.

BERRIMAN, J., PURNELL, P., HUTCHINS, D. A., NEILD, A., **Humidity and Aggregate content Correction Factors for Air-coupled Ultrasonic Evaluaction of Concrete**, 2005.

BUNGEY, J. H., MILLARD, S. G., **Testing of Concrete in Structures**. Glasgow: Chapman and Hall, 1996.

BUNGEY, J. H., **The Testing of Concrete in Structures**.UniversityPress.London, 1989.

BRITISH STANDARD INSTITUTION . **BS 1881: PART 203- Recommendations for measurement of the velocity of ultrasonic pulses in concrete**, 1986.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. Pini. São Paulo, 1988, p. 522.

CHO Y. S., Non-destructive testing of high strength concrete using spectral analysis of surface waves. In: **NDT&E International 36**. 2003, p.229-235

CHUNG, H. W., LAW, K.S., Diagnosing in situ concrete byultrasonic pulse technique. In:**Concrete International**.1983, p.42-49.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos.**Dissertação (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.

ELVERY, R. H.,IBRAHIM, L. A. M.Ultrasonic assessment of concrete strength at early ages. In: **Magazine of Concrete Research.**1976, p.181-190.

ISAIA, G. C., O Concreto:da Era Clássica à Contemporânea.In:ISAIA, G. C. (Editor), **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** São Paulo: IBRACON, 2005, cap.1, vol.1, p.1-44.

KOMLOS, K., Ultrasonic Pulse Velocity Test of Concrete Properties as Specific in Various Standards. In: **Cement and Concrete Composites.** 1996, vol.18, p.357-364.

FIGUEIREDO, E. P., Inspeção e Diagnóstico de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência, Fissuras e Deformações. In:ISAIA, G. C. (Editor), **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** São Paulo: IBRACON, 2005, cap.33, vol.2, p.985-1015.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.**Dissertação (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

LORENZI, A., NESVIJSKI, E. G., Análise do Concreto nas idades iniciais com ultra-som e sistema especialista. **Téchne – Revista de Tecnologia da Construção.** São Paulo, n.58, p.46-49, 2002.

LORENZI, A., SILVA FILHO, L. C. P., Estudo Comparativo entre Sistemas Inteligentes para o Auxílio da Análise de Estruturas de Concreto através de Ensaios Não Destrutivos. In: **Conferencia sobre Tecnologia de Equipamentos.** Florianópolis, 2003.

LORENZI, A., **Aplicação de Redes Neurais Artificiais para Estimativa da Resistência a Compressão do Concreto a partir da Velocidade de Propagação do Pulso Ultra-sônico.** Dissertação (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

MACHADO, M. D., **Curvas de correlação para Caracterizar Concretos usados no Rio de Janeiro por meio de Ensaios Não Destrutivos.**Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

MENEGUETTI, L. C., **Avaliação da Resistência a Compressão de Concretos nas Primeiras Idades através do Ultra-som**. Florianópolis: 1999.

MOTA, R. O., FRANCINETE JÚNIOR, P., SOUZA, R. A., **Avaliação da Resistência a Compressão do Concreto através da Velocidade de Propagação da Onda Ultra-sônica**. TCC (Graduação de Engenharia Civil) Universidade Estadual de Goiás, Goiás, 2008.

NAIK, T. R., MALHOTRA, V. M., The Ultrasonic Pulse Velocity Method. In: **Handbook on Nondestructive Testing of Concrete**. Boca Raton: CRC Press, 1991. Cap. 7, p.161-201.

NAIK, T. R., The Break-of Method. In: MALHOTRA, V. M.; CARINO, N. J. **Nondestructive testing of concrete**. Florida, 2004. Cap. 4, p.1-14.

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

NOGUEIRA, C. L., **Análise Ultra-sônica da distribuição dos Agregados no Concreto através de Wavelets**. In: XXI Congresso Nacional de Ensaios Não Destrutivos. Salvador, 2002.

NOGUEIRA, C.L. AND WILLAN, K.J., Ultrasonic testing of damage in concrete under uniaxial compression. In: **ACI Materials Journal**. May.-June 2001, pp. 265-275.

PHOON, K.K., ~~ET AL~~, Development of statistical quality assurance criterion for concrete using ultrasonic pulse velocity method. In: **ACI Material Journal**. September-October 1999, p.568-573.

POPOVICS, S., Analysis of the concrete strength versus ultrasonic pulse velocity relationship. In: **Materials Evaluation**. Fevereiro 2001, p. 7.

RILEM, **NDT 1 - Testing of concrete by the ultrasonic pulse method**, 1972.

SANTOS, J. M. M. N. D., **Avaliação da integridade estrutural de pontes de betão – o caso da ponte Nossa Senhora da Guia**. Dissertação (Mestrado). Universidade do Porto. Porto, 2008.

SILVA FILHO, L. C. P., LORENZI, A., CAMPAGNOLO, J. L., STRIEDER, A. J., QUININO, U. C. de M., CAETANO, L. F., Estudos de caso sobre avaliação de estruturas de concreto através da utilização de ensaios não destrutivos. In: **Revista ALCONPAT**. São Paulo, v.1, n.3, p.196-208, 2011.

STURRUP, V. R., VECCHIO, F. J., AND CARATIN, H., Pulse Velocity as a Measure of Concrete Compressive Strength. In: **Situ/Nondestructive Testing of Concrete, Special Publication SP-82, American Concrete Institute**. Detroit, 1984, pp.201-228.

JONES, R., **The Ultrasonic Testing of Concrete**. 1ª Edição. Glasgow: Chapman and Hall, 1962.

TOMSETT, H.N., The practical use of ultrasonic pulse velocity measurements in the assessment of concrete quality. In: **Magazine of Concrete Research**. March, 1980 pp7-16.

YAMAN, I.O. et al - Ultrasonic pulse velocity in concrete using direct and indirect transmission. In: **ACI Materials Journal**. November-December 2001, p. 450-457.