

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS CURITIBA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM PATOLOGIAS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

LEANDRO RAFAEL SLOSASKI

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO
ÂNGULO DA JUNTA DE CONCRETAGEM NA
RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETOS**

**CURITIBA - PR
MAIO - 2017**

LEANDRO RAFAEL SLOSASKI

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO
ÂNGULO DA JUNTA DE CONCRETAGEM NA
RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETOS**

Trabalho de Conclusão
apresentado como requisito parcial
à aprovação e conclusão do curso
de especialização em Patologias
da Construção, do Câmpus
Curitiba, da UTFPR.

Orientador: Prof. Dr. Wellington
Mazer

**CURITIBA - PR
MAIO – 2017**

LEANDRO RAFAEL SLOSASKI

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO ÂNGULO DA JUNTA DE CONCRETAGEM NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETOS

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Patologia das Construções, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Orientador:

Prof. Dr. Wellington Mazer
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Banca:

Prof. Dr. Arthur Medeiros
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. Dr. Aduino José Miranda de Lima
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Curitiba

2017

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso

AGRADECIMENTOS

A Agradeço inicialmente a Deus pela oportunidade.

Agradecimento especial para minha família, quem me apoiou e continuará me apoiando nos desafios futuros.

Agradeço ao conhecimento fornecido por toda equipe docente do Curso de Especialização em Patologias das Construções.

Agradeço ao apoio e toda orientação recebida pelo Orientador, Prof. Dr. Wellington Mazer.

A Supremo Cimentos que disponibilizou materiais e laboratório para realização desta pesquisa.

Ao colaborador Luís Tonon da Supremo Cimentos pela vital ajuda na execução dos ensaios.

Para finalizar, a todos amigos que deram incentivo e apoio direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

A área de Patologias da Construção Civil vem apresentando estudos de muitos pesquisadores nos últimos anos. Junto a isto, pode-se dizer que tem havido um aumento da demanda por profissionais que de fato entendam sobre esta área, devido ao grande número de construções com idades avançadas, readequações de uso de imóveis e infelizmente a erros construtivos relacionados a diversas partes de uma obra. Uma das questões que mais tem chamado a atenção são os reforços em estruturas, onde tem-se uma gama considerável de opções. Uma das técnicas de reforço mais executada é a adição de elementos estruturais ou aumento da seção dos elementos existentes em concreto, sendo esta uma das técnicas com valores mais competitivo. Esta pesquisa tem como objetivo investigar o efeito causado pelo ângulo de corte formado entre a junção de dois concretos com idades diferentes. Tendo em vista que esse tipo de junção não ocorre apenas em reforços, mas em obras que por algum motivo sofreram paralisação e retornaram aos trabalhos depois de algum tempo formando juntas secas e na fabricação de pré-moldados, onde tem em alguns casos temos concretagens posteriores em vigas e pilares por dificuldades em se concretar a peça inteira de modo que se atenda ao projeto. Como resultado demonstrado neste estudo, tornou-se possível perceber as variações na resistência à tração e compressão dos corpos de prova submetidos aos ensaios em relação a um concreto referência.

Palavra-chave: *Concreto, Reforço estrutural, Ponte de aderência, Junção entre concretos, Ângulo da junta.*

ABSTRACT

The area of Civil Construction Pathologies has been presenting studies of many researchers in recent years. Along with this, it can be said that there has been an increase in demand for professionals who actually understand about this area, due to the large number of buildings with advanced ages, real estate use adjustments and unfortunately to constructive errors related to various parts of a work. One of the issues that has attracted the most attention is reinforcements in structures, where there is a considerable range of options. One of the most executed reinforcement techniques is the addition of structural elements or increase of the existing section elements in concrete, being one of the techniques with more competitive values. This research aims at investigating the effect caused by the shear angle formed between the joints of two concretes of different ages. Considering that this joint occurs not only in reinforcements, but also in works that for some reason suffered paralysis and returned to work later of some time forming dry joints and in the manufacture of precast, where in some cases we have later concretions in beams and pillars due to difficulties in concreting the whole piece so that it meets the project. As a result demonstrated in this study, it became possible to perceive the variations in the tensile strength and compression of the specimens submitted to the tests in relation to a reference concrete.

Keyword: *Concrete, Structural reinforcement, Bonding bridge, Concrete joint, Joint angle.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema de corte do CP cilíndrico.....	25
Figura 2 - Relação entre as Tensões de Compressão-Cisalhamento e Círculo de Mohr.....	26
Figura 3 - Ensaio de granulometria e massa específica do agregado miúdo.....	31
Figura 4 - Ensaio de granulometria e massa específica do agregado graúdo.....	32
Figura 5 - Modelo das junções dos corpos de prova.....	35
Figura 6 – Etapas da pesquisa.....	35
Figura 7 - Isopor de preenchimento e placa cimentícia.....	36
Figura 8 - Preenchimento dos moldes com isopor.....	36
Figura 9 - Ensaio slump test no “concreto velho”.....	37
Figura 10 - Moldagem dos corpos de prova divididos.....	37
Figura 11 - Corpos de prova cilíndricos divididos – secção concreto velho.....	37
Figura 12 - Divisão dos moldes prismáticos.....	38
Figura 13 - Corpos de prova prismáticos divididos – secção concreto velho.....	38
Figura 14 - Ensaio slump test no “concreto novo”.....	38
Figura 15 - Moldagem corpos de prova cilíndricos – secção concreto novo.....	39
Figura 16 - Moldagem corpos de prova prismáticos – secção concreto novo.....	39
Figura 17 - Corpos de prova prismáticos após união “concreto velho/novo”.....	39
Figura 18 - Corpos de prova cilíndricos após união “concreto velho/novo”.....	40
Figura 19 - Posição corpo de prova prismático na prensa.....	41
Figura 20 - Rompimento CP cilíndrico junção 90° “concreto velho/novo”.....	45
Figura 21 - Rompimento junção 90° “concreto velho/novo” dos 4 corpos de prova..	46
Figura 22 - Rompimento CP cilíndrico junção 45° “concreto velho/novo”.....	46
Figura 23 - Detalhe dos corpos de prova de junção 45° após rompimento.....	46
Figura 24 - Detalhe dos corpos de prova prismáticos de junção 90° após rompimento.....	47
Figura 25 - Detalhe dos corpos de prova prismáticos e junção 45° após rompimento.....	47
Figura 26 - Gráfico comparativo de resultados médios entre os CP cilíndricos.....	48
Figura 27 - Gráfico comparativo de resultados médios entre os CP prismáticos.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de dosagem.....	18
Tabela 2 - Procedimentos de preparo do substrato	20
Tabela 3 - Adesão X Rugosidade	22
Tabela 4 - Ensaio químicos do cimento CII-F 32 Supremo.....	29
Tabela 5 - Ensaio físicos do cimento CII-F 32 Supremo.....	29
Tabela 6 - Ensaio de resistência a compressão do cimento CII-F 32 Supremo ...	30
Tabela 7 - Ensaio químicos do cimento CP V ARI Supremo.....	30
Tabela 8 - Ensaio físicos do cimento CP V ARI Supremo.....	30
Tabela 9 - Ensaio de resistência a compressão do cimento CP V ARI Supremo ...	31
Tabela 10 - Traço “concreto velho” com CII-F 32	33
Tabela 11 - Traço “concreto novo” com CP V ARI.....	34
Tabela 12 - Quantitativo de amostras	34
Tabela 13 - Resultados ao longo dos dias do concreto “velho” à compressão	45
Tabela 14 - Resultados ao longo dos dias do concreto “velho” à tração na flexão de 4 pontos	42
Tabela 15 - Resultados ao longo dos dias do concreto “novo” à compressão.....	42
Tabela 16 - Resultados ao longo dos dias do concreto “novo” à tração na flexão de 4 pontos	43
Tabela 17 - Resultados à compressão com junção concreto velho/novo à 45°	43
Tabela 18 - Resultados à compressão com junção concreto velho/novo à 90°	44
Tabela 19 - Resultados da tração na flexão aos 4 pontos com junção concreto velho/novo à 45°.....	44
Tabela 20 - Resultados da tração na flexão aos 4 pontos com junção concreto velho/novo à 90°.....	45

LISTA DE SÍMBOLOS

ASTM - American Society for Testing and Materials
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP – Corpo de prova
Fck - Resistência Característica do Concreto à Compressão
MPa – Megapascal
NBR – Norma Brasileira
PET - Politereftalato de etileno

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Justificativa	12
1.2. Objetivos	12
1.2.1. Objetivos Gerais	12
1.2.2. Objetivos Específicos	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO	13
2.1.1. Cimento Portland	13
2.1.2. Agregados	14
2.2. REPARO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO	19
2.2.1. Concreto como material de reparo	19
2.2.2. Ponte de aderência	21
2.2.3. Métodos de avaliação de desempenho da junta	23
2.2.4. Análise das tensões	25
3. MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1. ESTRUTURA DA PESQUISA	27
3.2. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ESTUDO	28
3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	28
3.3.1. Aglomerante	28
3.3.2. Agregados convencionais	31
3.3.3. Água de amassamento	32
3.3.4. Concreto	32
3.4. ENSAIOS	34
3.5. COMPARATIVO	34
3.5.1. Estrutura da pesquisa	35
3.5.2. Confeção dos concretos e moldagens	36
4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	41
4.1. RESULTADOS CONCRETO VELHO	41
4.2. RESULTADOS CONCRETO NOVO	42
4.3. RESULTADOS CONCRETO VELHO \ NOVO	43
4.3. COMPARAÇÕES	43
5. CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Por suas excelentes propriedades de versatilidade, resistência e economia, o concreto de cimento Portland se mostra como um dos mais importantes materiais de construção civil. Entretanto, obras de concreto tem apresentado algum grau de deterioração, desde manchas superficiais até comprometimento de sua função estrutural, implicando na necessidade de algum tipo de reparo e/ou reforço deste concreto, a fim de que o mesmo possa ter suas propriedades originais restabelecidas. A crescente quantidade de trabalhos nesta área e os elevados custos envolvidos tornaram o setor de reparos estruturais parte importante da indústria da construção civil.

A patologia do concreto pode estar implícita já na fase do projeto, em virtude do desconhecimento por parte do projetista em relação as propriedades e comportamentos dos materiais, e ao ambiente (macroclima e microclima) ao qual estará exposta a edificação. Os problemas patológicos podem também ocorrer na fase de construção da estrutura, pelos vícios de construção, ou ainda na fase de utilização da estrutura, pelo mau uso da edificação, por falta de manutenções necessárias para manter sua resistência e durabilidade ou pela ocorrência de acidentes.

Levando em consideração esses aspectos, a escolha dos materiais e técnicas de recuperação a serem empregados depende do diagnóstico do problema, das condições da região a ser tratada e das exigências de funcionamento do elemento a ser recuperado.

Dentre os diversos métodos utilizados num processo de reparação estrutural, um dos mais usuais é a remoção do concreto contaminado ou deteriorado e sua recomposição por meio da ligação com outro concreto. Essa união entre dois concretos é realizada em algumas situações com produtos denominados pontes de aderência, pode-se encontrar alguns casos onde não foi utilizado esses produtos.

Nesses casos onde tem-se a ausência da aplicação de produtos denominados ponte de aderência, pode-se considerar que o concreto neste ponto não é um componente monolítico, configurando-se uma espécie de junta seca, assim, tem-se a pior condição de ligação entre concretos de idades e resistências diferentes. Aliado a este fato, pode-se considerar que ao retirar o concreto

danificado, muitas vezes forma-se um ângulo de corte em relação a força principal atuante neste elemento, gerando possivelmente tensões de cisalhamento nesta junção.

1.1 JUSTIFICATIVA

O mercado da construção civil oferece inúmeros materiais e sistemas para recuperação, reparo e reforços das estruturas de concreto danificadas, sempre garantindo sua eficiência. Porém, apesar de todo avanço tecnológico na engenharia estrutural, métodos racionais para os projetos de reparo ainda não alcançaram o mesmo refinamento e progresso atingidos pelos métodos de dimensionamento de estruturas novas. Essa falta de experiência científica acumulada, conduz ao emprego de processos de reparos inadequados, o que em muitos casos pode comprometer o reparo, demonstrando assim, a necessidade de um maior número de pesquisas acadêmicas nesta área tão importante e crescente da engenharia.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Análise da junção de dois concretos alterando-se o ângulo da junta seca.

1.2.2 Objetivo Específico

Verificar através de ensaios o comportamento de corpos de prova endurecidos confeccionados em parte com concreto de idade mais avançada e resistência menor, tendo a outra parte com concreto de idade mais recente e resistência maior.

Será definido um ângulo da junção entre os concretos em relação a força aplicada.

- Verificação da resistência à compressão uniaxial com corpos de prova cilíndricos, cujo o ângulo da junção será 0° em relação a força de compressão.
- Verificação da resistência à compressão uniaxial com corpos de prova cilíndricos, cujo o ângulo da junção será 45° em relação a força de compressão.
- Verificação da resistência à tração de 4 pontos com corpos de prova prismáticos cujo o ângulo da junção será 90° em relação a força de tração.

- Verificação da resistência à tração de 4 pontos com corpos de prova prismáticos cujo o ângulo da junção será 45° em relação a força de tração.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO

O concreto é um material composto que consiste essencialmente de um meio contínuo aglomerante, dentro do qual estão mergulhadas partículas ou fragmentos de agregados (Mehta e Monteiro, 1994). No concreto de cimento hidráulico, o meio aglomerante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água. Além de cimento, água e agregados, o concreto pode conter aditivos, pigmentos, fibras, agregados especiais e adições minerais, cujos empregos tornam-se cada vez mais frequentes nos concretos atuais. A proporção entre os diversos constituintes é buscada pela tecnologia do concreto, para atender simultaneamente as propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade do concreto, além das características de trabalhabilidade necessárias para o transporte, lançamento, condições estas que variam caso a caso. Assim, este capítulo apresenta definições sobre a estrutura do concreto e suas propriedades físicas e mecânicas.

2.1.1 Cimento Portland

De acordo com Mehta e Monteiro (1994) o cimento é um material finamente pulverizado, que sozinho não é aglomerante, mas desenvolve propriedades ligantes, como resultado da hidratação, isto é, das reações químicas entre os minerais do cimento e a água. Um cimento é denominado hidráulico quando os produtos de hidratação são estáveis em meio aquoso. O cimento hidráulico mais utilizado é o cimento Portland, que consiste essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos. Os silicatos de cálcio hidratados, formados pela hidratação do cimento Portland, são os principais responsáveis por sua característica adesiva e são estáveis em meios aquosos. Musokotwane (1982) *apud* Latorraca (2000) menciona que para evitar danos devidos à excessiva liberação de calor, a composição do cimento Portland é usualmente alterada de tal forma que os constituintes que produzem maior calor durante o processo de hidratação estejam presentes em menores proporções.

Segundo Neville (1997), o processo de fabricação do cimento Portland, consiste essencialmente em moer a matéria prima, misturá-la intimamente nas proporções adequadas e queimar essa mistura em um grande forno rotativo até uma temperatura cerca de 1450 °C. Nessa temperatura o material sofre uma fusão incipiente formando pelotas, conhecidas como clínquer. O clínquer resfriado é moído até um pó bem fino com a adição de um pouco de gesso, resultando o cimento Portland comercial largamente utilizado em todo o mundo.

As adições de pozolanas, escórias granulares de alto forno e/ou carbonáticos que se dão ao produto, têm seus teores definidos conforme NBR 5732(ABNT,91) a qual estabelece os teores mínimos e máximos dos materiais adicionais para cada tipo de cimento que se pretende obter.

Os principais tipos de cimento Portland classificam-se pelas propriedades físicas ou químicas mais importantes, como um endurecimento rápido, pequena velocidade de desprendimento de calor ou resistência aos sulfatos (NEVILLE, 1997).

2.1.2 Agregados

Segundo o Portal do Concreto (2016), agregados são materiais que, no início do desenvolvimento do concreto, eram adicionados à massa de cimento e água, para dar-lhe “corpo”, tornando-a mais econômica. Hoje estes representam cerca de oitenta por cento do peso do concreto e sabemos que além de sua influência benéfica quanto à retração e à resistência, a dimensão máxima, a densidade, a forma e a textura dos seus grãos e sua curva granulométrica podem definir várias das características desejadas em um concreto.

2.1.2.1 Classificação

Os materiais agregados são classificados levando-se em conta os tamanhos das partículas que compõem o material.

Aïtcin (2000), afirma que a resistência dos agregados naturais está diretamente ligada à natureza das rochas matrizes, reduzidas ao seu estado atual através de vários processos climáticos naturais, ou seja, nada poderá alterar sua resistência.

Através da NBR 7211(ABNT,2009) pode-se classificá-los quanto aos seus tamanhos granulométricos, bem como estabelecer padrões de utilização dos mesmos

2.1.2.2 Agregados graúdos

Os agregados chegam a ocupar dependendo do traço utilizado, 60 a 70% do volume de concreto, portanto pode-se esperar que exerçam influência significativa sobre as suas propriedades no estado fresco quanto no estado endurecido, (NEVILLE ,1997).

O agregado graúdo é predominantemente responsável pela massa específica módulo de elasticidade e estabilidade dimensional do concreto. Em compensação sua influência na resistência a compressão é muito pequena quando utilizado em concretos convencionais ($F_{ck} < 50$ MPa). Nestes casos, a pasta de cimento e a zona de transição pasta/agregado são os componentes que tem maior influência (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Estes autores recomendam as seguintes características para o agregado graúdo:

- Limpos e isentos de substâncias deletérias; propriedades químicas adequadas para evitar deterioração devido à composição do cimento (Reação Álcali-Agregado) ou ataque de agentes externos; forma e textura que favoreça a aderência com a pasta;
- Curva granulométrica adequada; totalmente britado e com mínimo de grãos alongados e achatados; módulo de elasticidade igual ou maior ao da pasta de cimento; boa resistência à compressão.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a resistência à compressão, a resistência a abrasão e o módulo de elasticidade dos agregados são propriedades inter-relacionadas, que são muito influenciadas pela porosidade. Os agregados naturais comumente usados para a produção de concretos normais são geralmente densos e resistentes; portanto, raramente é um fator limitante da resistência e propriedades elásticas do concreto endurecido. Com relação à composição granulométrica, Mehta e Monteiro (1994), mencionam a importância da determinação de limites granulométricos e da dimensão máxima de agregados, em relação a influência na trabalhabilidade e custo na produção de concretos.

Em geral, quanto maior a dimensão máxima do agregado, menor será a área superficial por unidade de volume, que tem de ser coberta pela pasta de cimento, para uma dada relação água/cimento, pois o preço do cimento é, usualmente, cerca de 10 vezes (em alguns casos, até mesmo 20 vezes), mais caros que o preço do agregado, então qualquer ação que possa economizar cimento sem reduzir a resistência e prejudicar a trabalhabilidade do concreto pode resultar em benefício econômico significativo. Além dos aspectos econômicos, há outros fatores que governam a escolha da dimensão máxima do agregado para uma mistura de concreto. Como partículas maiores tendem a produzir mais microfissuras na zona de transição entre o agregado graúdo e a pasta de cimento, nos concretos de alta resistência a dimensão máxima é limitada a 19 mm, (AÏTCIN ,2000).

Já as características quanto à forma e textura superficial dos agregados, influenciam mais nas propriedades do concreto no estado fresco do que no estado endurecido. As partículas de textura áspera, angulosas e alongadas requerem mais pasta de cimento para produzir misturas trabalháveis, pois comparadas com as partículas lisas e arredondadas, aumentam o custo do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

2.1.2.3 Agregados miúdos

O agregado miúdo influencia tanto na quantidade de água quanto no empacotamento físico. Deste modo quanto à forma são preferíveis as partículas arredondadas e lisas, pois exigem menos água de amassamento, ACI 363R-10 (ACI , 2010). Porém nem sempre se dispõem do agregado ideal para elaboração do concreto, sendo necessária a utilização de meios técnicos para elaboração do concreto ideal para o fim necessário. Tais meios incluem o uso de aditivos, adições, métodos de mistura não convencionais (misturador planetário de eixo vertical para concretos secos), controle da curva granulométrica dos agregados, etc.

Com relação à procedência dos agregados miúdos, tanto areias naturais de rio, cavas, quanto artificiais, podem ser utilizadas. Gutiérrez e Cánovas (1996) recomendam o uso de areia natural de rio para evitar a demanda excessiva de água. Contudo devido à escassez deste material em sua forma natural, vários estudos têm sido feitos para se aprimorar o concreto com o agregado artificial obtido do britagem de rocha.

O controle da curva granulométrica do agregado miúdo implica no conhecimento de alguns fatores preponderantes ao concreto. A utilização de uma areia mais grossa, conseqüentemente com menos superfície específica, necessita de menos água de amassamento, proporcionando a obtenção de uma dada trabalhabilidade com uma relação água/aglomerante menor, o que é vantajoso em termos de resistência e economia (NEVILLE, 1997; AİTCIN, 2000).

Com relação à resistência a compressão do agregado miúdo, Aİtcin (2000) adverte que a areia deve conter uma quantidade mínima de partículas maiores que 4,8 mm porque, em alguns casos, estas partículas não são muito fortes e podem se tornar o elo mais fraco do concreto.

Segundo Dal Molin (1995) *apud* Mendes (2002), a seleção do agregado miúdo está condicionada à sua demanda de água, fator essencial devido à sua influência sobre a resistência.

2.1.2.4 Forma e dimensão máxima do agregado

Os agregados graúdos de forma arredondada dão concretos mais densos que os preparados com agregado britado; no entanto; o agregado britado ou de formato irregular fornece concreto com maior resistência mecânica, em função de uma maior aderência da pasta de cimento com o agregado, para a mesma dosagem de cimento e tipo de areia. No caso da areia ser também de formato irregular, o concreto com agregado graúdo arredondado e se esse agregado for fino, fornecem resistência elevada, provavelmente em função da alta compactidade obtida, através do preenchimento dos vazios do agregado graúdo pela areia fina. A conclusão feita em estudos com várias composições granulométricas indica que se podem obter concretos de alta resistência em função da aderência pasta - agregados e também de uma compactação eficiente da mistura, através de uma dosagem racional da fração inerte (CARNEIRO, 1999).

Para Helene e Terzian (1992), apesar de ser inquestionável a produção de concretos econômicos com características que atendam às exigências das obras, parece estar esquecida para a maioria dos gerentes de obras, verificando-se que muitos deles até se orgulham disto, produzindo concretos com características e custo muito acima das exigências mínimas. Os aspectos são conflitantes porque a

maior economia nem sempre está associada à melhor trabalhabilidade, à maior durabilidade ou até mesmo à maior resistência mecânica.

Então, uma solução de compromisso entre as características ideais do concreto fresco para certa situação e as características exigidas no seu estado endurecido, será a de contrabalancear a tecnologia e arte contrapondo parâmetros importantes de dosagem, que evoluem contrariamente conforme se pretenda satisfazer as exigências no estado fresco e endurecido do concreto.

Helene e Terzian (1992) apresentam o sentido da evolução dos diversos parâmetros da dosagem conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de dosagem

Parâmetros de dosagem do concreto	Concreto fresco Para uma boa trabalhabilidade	Concreto endurecido Para uma boa resistência	Para redução de custo
Granulometria do agregado miúdo	De preferência fina	De preferência grossa	Grossa
Relação agregado miúdo	A diminuir	A aumentar	A maior possível
Consumo de água	Aumentar até certo ponto	A diminuir	A aumentar
Granulometria total	Preferível contínua	Preferível descontínua	A disponível
Dimensão característica máxima	De preferência média	De preferência pequena	A maior possível
Geometria do grão de agregado graúdo	De preferência esférica (pedregulho)	De preferência irregular (brita)	Esférica (pedregulho)

Fonte: Helene e Terzian, 1992. 349p

Pode se observar na tabela 1 o que é um parâmetro recomendado ao concreto no estado fresco, não é no estado endurecido.

A porcentagem dos diferentes tamanhos de grãos que compõem uma amostra de agregado, é que irá determinar a sua composição granulométrica, ou seja, as proporções relativas a cada tamanho de partícula presente na amostra (Petrucci, 1978). A seleção dos materiais constituintes do concreto e o seu correto proporcionamento são os passos mais importantes para a produção de um concreto que atenda as especificações de trabalhabilidade e resistência à compressão. Saiba-se que as características e propriedades destes materiais influenciam diretamente no seu proporcionamento e no desempenho final do concreto.

Neste contexto, a graduação, o tamanho máximo e a mineralogia dos agregados têm influência direta sobre as propriedades de trabalhabilidade e resistência à compressão dos concretos de resistência normal e alta. Para os

agregados miúdos a sua graduação influencia diretamente a demanda de água do concreto e conseqüentemente a relação água/cimento e/ou o consumo de aditivos redutores de água. Nos casos dos agregados graúdos, a absorção, a mineralogia, o tamanho e a forma dos agregados são as principais características que influenciam o desempenho final dos concretos (CARNEIRO, 1999).

2.2 REPARO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Segundo Garcia (1998), o reparo em estruturas de concreto é, em geral, uma tarefa complexa em virtude da necessidade de uma precisa avaliação das condições estruturais, da identificação das fontes causadoras do enfraquecimento e/ou degradação, do grau de conhecimento necessário para o projeto e especificações de um reparo, e uma variedade de outras operações que usualmente envolvem o uso de materiais e técnicas especializadas que, muitas vezes, são empregados em circunstâncias desfavoráveis.

Existe um grande número de trabalhos técnicos e científicos relacionados com reparos e reforços de estruturas, assim como uma ampla oferta de materiais e sistemas. Por outro lado, segundo Andrade (1992), a experiência científica não é muito grande e em certas ocasiões ocorre uma falha precoce no reparo que poderia ser evitada com um estudo mais cuidadoso da situação. Em outras ocasiões a falha é inevitável por causa do escasso conhecimento sobre o comportamento dos materiais e sistemas de reparo, principalmente a longa duração.

2.2.1 Concreto como material de reparo

O concreto de cimento Portland é tradicionalmente usado em reparos e reforços. Na maioria das vezes, requer um traço especialmente formulado para cada caso, de forma a se melhorar algumas de suas características naturais. Pode ser necessário um concreto com alta resistência inicial, ausência de retração na secagem, expansões leves e controladas, elevada aderência ao substrato, baixa permeabilidade e outras propriedades, normalmente obtidas por meio do emprego de aditivos e adições, tais como superplastificantes, redutores de água, impermeabilizantes, escoria de alto fomo, cinza volante, sílica ativa conforme EM1110-2-2002, (USACE, 1995).

O concreto utilizado no reparo deverá apresentar resistência no mínimo igual à do concreto existente na estrutura, com granulometria e diâmetro máximo do agregado compatíveis como serviço, segundo Garcia (1998).

2.2.1.1 Preparo e limpeza do substrato

Os procedimentos de preparo e limpeza do substrato são responsáveis por 50% ou mais do sucesso de uma recuperação ou reforço. De acordo Helene e Pereira (2003), uma superfície inadequadamente preparada não permite boa união de dois materiais.

O preparo do substrato trata-se do conjunto de procedimentos realizados antes da limpeza superficial e da aplicação propriamente dita dos materiais e produtos de correção, ou seja, são os tratamentos prévios da superfície dos componentes estruturais. A Tabela 2 a seguir reúne os principais procedimentos de preparo (HELENE, 1992).

Tabela 2 - Procedimentos de preparo do substrato.

Procedimento	Procedimento mais adequado para tratamento de	
	Concreto com superfície	
	Seca	Úmida
Escarificação manual	Adequado	Adequado
Disco de desgaste	Aceitável	Adequado
Escarificação mecânica	Adequado	Adequado
Demolição	Adequado	Adequado
Lixamento manual	Inadequado	Aceitável
Lixamento elétrico	Adequado	Aceitável
Escovamento manual	Adequado	Aceitável
Pistola de agulha	Inadequado	Inadequado
Jato de areia seco ou úmido	Adequado	Adequado
Disco de corte	Aceitável	Adequado
Queima controlada	Adequado	Inadequado
Remoção de graxa e óleo impregnados	Inadequado	Adequado
Máquina de desgaste superficial	Aceitável	Adequado

Fonte: Helene (1992)

Bissonnette *et al.*(2013) afirmam que a preparação de superfície onde haverá a união entre concreto velho e concreto novo é uma das questões-chaves para a obtenção de alta qualidade neste tipo de ligação. A boa preparação da superfície não se limita aos processos que ocorrem imediatamente antes da aplicação do

concreto novo. Procedimentos, como a limpeza da superfície, lançamento do concreto e cura, devem ser meticulosamente conduzidos, até que se desenvolva uma resistência de união suficientemente elevada para que ocorra a acomodação das tensões.

Courard *et al.*(2013) referem-se aos tratamentos superficiais no substrato de concreto para promover a interligação mecânica, sendo que o mais comumente utilizado é o aumento da rugosidade superficial, através de diferentes métodos de abrasão. No entanto, para métodos muito agressivos, podem surgir alguns efeitos colaterais indesejáveis, especialmente o desenvolvimento de microfissuras no interior do substrato. No experimento desenvolvido pelos autores citados, houve a comprovação de que, para concretos com resistência à compressão menor que 30 MPa, há acréscimo de aderência entre concreto do substrato e concreto novo, ao preparar-se a superfície com processo de jateamento de areia e hidrodemolição. Porém, ao utilizar tratamentos mais agressivos, como polimento e perfurações da superfície, houve uma perda significativa da aderência, o que não ocorreu com os concretos mais resistentes. Assim, ainda conforme Courard *et al.*(2013), pode-se afirmar que a resistência à compressão dos concretos é parâmetro importante para escolha do tipo de tratamento superficial, visando à boa aderência entre concretos de diferentes idades.

2.2.2 Ponte de aderência

Sempre é aconselhável a construção de uma ponte de aderência nos reparos de áreas com manifestação de patologias no concreto. A ponte de aderência, além de permitir uma completa aderência entre o reparo e o substrato de concreto funciona também como uma barreira de proteção para a região do reparo (BISSONNETTE *et al.*,2013).

2.2.2.1 Princípios de funcionamento da ponte de aderência

Os princípios de avaliação da ponte de aderência se iniciam pelo entendimento do seu comportamento frente as forças atuantes e análise de seu desempenho.

2.2.2.2 Resistência da ponte de aderência

De acordo como boletim 162 (CEB, 1983) *apud* Galletto (2005), a resistência da ponte de aderência e dada por dois componentes: adesão e atrito.

Adesão, segundo ASTM D907 (ASTM, 2015) é o estado no qual duas superfícies são mantidas juntas por forças interfaciais as quais podem constituir-se de forças de valência, ação de intertravamento, ou ambas.

Os pontos de influência sobre a adesão são os seguintes:

- Rugosidade da superfície da junta - para ligação entre concretos comuns. A tabela 3 do CEB (1983) *apud* Galletto (2005), a seguir, mostra os diferentes valores de adesão para condições de rugosidade variáveis;

Tabela 3 – Adesão X Rugosidade.

Condição da Interface	Adesão (N/mm ²)
Lisa	1,0
Média (jateada)	1,7
Áspera (serrilhada)	1,9

Fonte: CEB (1983) *apud* Galletto(2005)

- Tratamento da superfície da junta - quanto maior a área de agregados exposta, maior a resistência da interface;
- Método de colocação do novo concreto - por exemplo, se a superfície do concreto velho for jateada e saturada antes da colocação do concreto novo, o resultado final será satisfatório;
- Uso de agentes de ligação ou uso de concretos especiais - podem propiciar bons valores de adesão;

De acordo com Galletto (2005), outros fatores tais como idade relativa entre o concreto novo e o velho, resistência e fluência do concreto não apresentam nenhum efeito sobre a resistência da junta.

Atrito, segundo CEB-FIP CODE (CEB, 1990) é o mecanismo de transferência de tensões tangenciais ao longo da interface a qual está simultaneamente sujeita a compressão normal e cisalhamento.

Beushausen e Alexander (2008) *apud* Doria *et al.* (2015) cita que é comum haver a união de concretos de diferentes idades, ocorrendo durante o reparo de estruturas de concreto e na junção de elementos de concreto pré-moldado.

Cánovas (1994) faz referência à frequente situação em que há ligação entre concretos de diferentes idades, nas juntas de concretagem, que ocorrem, na prática, de forma planejada, ou por interrupções involuntárias. O intervalo entre a primeira e a segunda concretagem pode ser de algumas horas, ou até mesmo dias.

Ainda de acordo com Beushausen e Alexander (2008) *apud* Doria *et al.* (2015) a simples sobreposição de concretos de diferentes idades pode levar ao aparecimento de fissuras e descolamento dos elementos que se pretendia unir.

Conforme Doria *et al.* (2015) as causas que levam à ineficiência desta união são relacionadas a diversos fatores, como a preparação da superfície do substrato, a forma de aplicação do concreto mais novo, procedimento de cura e até mesmo fatores ambientais. Entretanto, as principais influências negativas para o insucesso da ligação entre concreto novo e antigo é a má execução da ligação e a retração de diferentes magnitudes entre os materiais com diferença de idade.

2.2.3 Métodos de avaliação de desempenho da junta

Os ensaios utilizados para a avaliação dos materiais de reparo podem ser divididos em: ensaios de desempenho, ensaios de caracterização das pontes de aderência ou ensaios de acompanhamento. Neste trabalho foram os ensaios de desempenho, por serem considerados os mais importantes.

Tais ensaios consistem em avaliar o comportamento da união de corpos de prova de concreto ou argamassa geralmente não armados, a solicitações as quais a estrutura estará provavelmente submetida.

Os ensaios normalmente empregados são resumidamente descritos a seguir.

2.2.3.1 Ensaios de resistência a tração por flexão

Este ensaio pode ser efetuado em prisma de concreto de 150 x 150 x 500 mm, conforme NBR 12142(ABNT,2010).

Emprega-se em geral um conjunto de 2 ou mais prismas para cada avaliação: concreto antigo/concreto antigo ou concreto antigo/concreto novo. Esses prismas são moldados em laboratório, com um concreto previamente caracterizado e, se possível, semelhante aos que irão ser unidos em obra. Após adensados e curados imersos em tanques, com temperatura da água de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ até a idade que se considere suficiente para o ensaio, são retirados do tanque, caso não foram

moldados pela metade, são cortados ao meio com disco diamantado, deixando-se secar pelo menos 48 horas até atingir o equilíbrio com as condições do ambiente do laboratório.

No caso da união concreto antigo/concreto novo, as duas metades, depois de secas, são recolocadas em duas formas, aplicado o adesivo caso seja da metodologia do estudo e reconcretadas as metades faltantes.

Normalmente não interessa ter dois concretos com características mecânicas muito distintas, é necessário estudar as dosagens dos dois concretos em função da idade em que se pretende romper os corpos de prova. É necessário aqui também moldar corpos de prova de referência. Após cura adequada, procede-se ao ensaio.

Adota-se o carregamento nos terços, dois cutelos, pois assim se garante toda uma região central sob mesma sollicitação de momento fletor máximo e força cortante nula, oferecendo iguais probabilidades de ruptura a várias seções. O desempenho da junta é avaliado pela observação do local onde se deu a ruptura - fora ou na junta unida - e da comparação da tensão de ruptura dos prismas unidos com as tensões obtidas dos prismas de referência.

2.2.3.2 Ensaio de reconstituição do cilindro

Considerando que a resistência do concreto para fins estruturais é avaliada por meio das resistências de corpos de prova cilíndricos, dois pesquisadores americanos, Krieg (1976) e Nordby (1976), citados por Helene (1988), propuseram um ensaio onde é possível verificar de maneira global o desempenho do adesivo. Trata-se de ensaiar um corpo de prova cilíndrico de diâmetro 15 por 30 centímetros de altura, previamente cortado com disco diamantado em duas metades, através de uma superfície, formando um ângulo de 30° com a geratriz do cilindro, conforme figura:

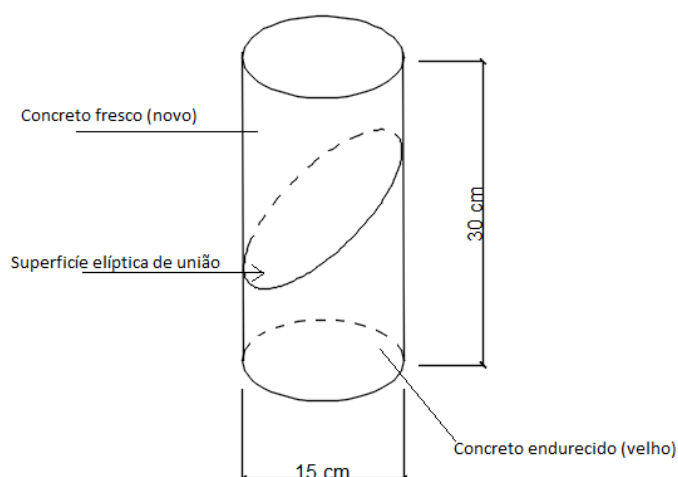


Figura 1 – Esquema de corte do CP cilíndrico,
 Fonte: Adaptado de Helene (1988).

Depois de cortado e seco, é novamente unido, permitindo avaliar o desempenho da união concreto velho/concreto novo. Os corpos de prova, novamente recompostos, estarão sujeitos a tensões de compressão, cisalhamento e tração tal qual originalmente. O desempenho é facilmente calculado a partir da verificação da capacidade do adesivo em reconstituir, em toda a sua plenitude, as características do corpo de prova original confeccionado com concreto íntegro e de referência. Nesta avaliação, é interessante medir a resistência de ruptura para fins de comparação e observar a forma de ruptura do corpo de prova, no sentido de avaliar a capacidade de reconstituição da formulação ensaiada.

No âmbito da atual pesquisa, foram modificados alguns parâmetros como ângulos da união entre o concreto velho e o concreto novo, tais parâmetros serão descritos no programa experimental.

2.2.4 Análise das tensões

Tendo em vista a junção de dois compósitos de concreto com idades e resistências diferentes, se torna importante entender como as tensões agem sobre o corpo de prova.

Conforme Austin, Robins e Pan (1999) *apud* Galletto (2005), quando um prisma composto, contendo uma junta formando um ângulo em relação ao eixo longitudinal, é submetido a compressão axial, o desenvolvimento das tensões e os modos de ruptura dependem principalmente da eficiência da aderência.

Dessa forma, se existir uma adesão eficiente as tensões ao longo da junta são transmitidas por uma combinação de coesão/atrito, nesse caso, a ruptura se dará no concreto, podendo ocorrer de duas formas: do tipo de pirâmide-dupla, comum nos ensaios de corpos de prova monolíticos ou uma ruptura diagonal próxima a junta. Caso a adesão for insuficiente, a ruptura diagonal ocorrerá ao longo da linha da junta, segundo Garcia (1998).

2.2.4.1 Ruptura na junta

Ainda segundo Galletto (2005), quando a ruptura ocorre na junta, o estado global de tensões na interface apresenta, macroscopicamente, tensões de compressão e cisalhamento e o Critério de Mohr-Coulomb pode ser usado para descrever a resistência última, conforme figura 2.

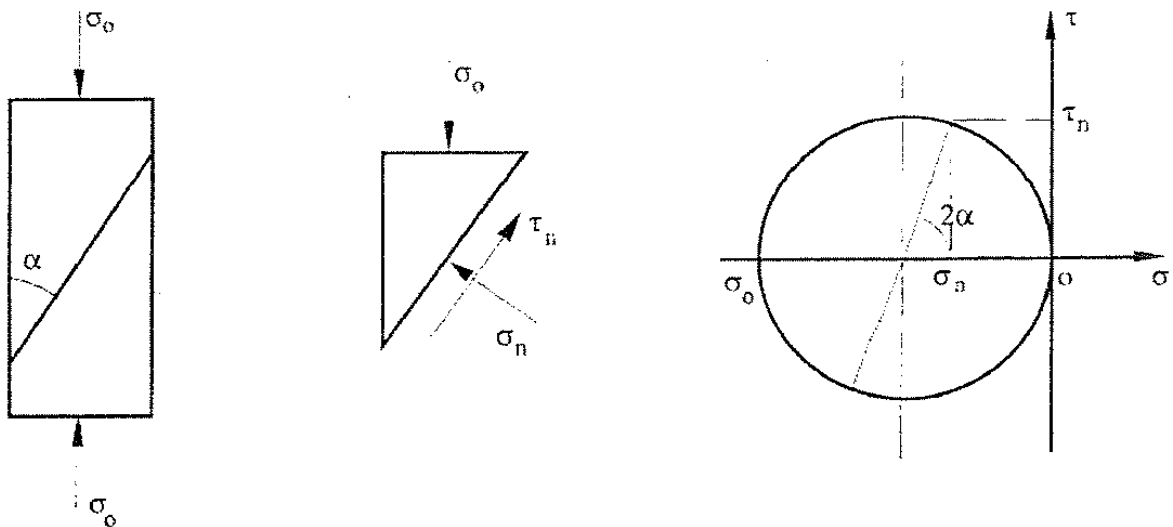


Figura 2 - Relação entre as Tensões de Compressão-Cisalhamento e Círculo de Mohr. Fonte: Galletto (2005).

2.2.4.2 Ruptura monolítica

Se a junta for resistente, o corpo de prova romperá de forma monolítica, ou seja, como se fosse um corpo de prova íntegro, ou romperá no concreto adjacente a junta. As tensões últimas de cisalhamento e normal na interface podem ser expressas em termos da resistência longitudinal (F_c) e do ângulo “ α ”, pelas expressões:

$$1) \quad \bar{\delta} = F_c \cos^2 \alpha$$

$$2) \quad \tau = F_c \sin \alpha \cos \alpha$$

As expressões podem ser representadas como na figura 2, pelo Círculo de Mohr mostrado pela linha tracejada. Para a construção do Círculo de Mohr, o diâmetro adotado e a resistência a compressão do prisma de concreto monolítico e, se o atrito dos pratos da prensa ao concreto forem desprezados, a tensão normal última é:

$$3) \sigma_u = 0,95 F_{cc}$$

onde F_{cc} é a resistência à compressão do cilindro.

O semi-círculo define a região onde a ruptura monolítica de esmagamento deve predominar. A reta inclinada e o trecho de circunferência definem uma envoltória de modos de ruptura mostrada na figura 2.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

No decorrer deste capítulo, serão apresentadas as várias etapas do programa experimental desenvolvido nesta pesquisa, bem como os materiais e métodos utilizados, justificando sua execução.

Como evidenciado no decorrer das diversas fases do estudo, na determinação de características das matérias primas e/ou dos materiais produzidos, foram aplicados métodos de ensaio baseados em normas Brasileiras.

Todos os documentos necessários para o desenvolvimento da pesquisa constam nas Referências Bibliográficas.

3.1 ESTRUTURA DA PESQUISA

O programa experimental tem como objetivo avaliar o comportamento da união entre dois concretos (concreto antigo/novo) alterando-se o ângulo de junção entre eles.

Em função das características da pesquisa, o programa experimental optou-se por dividir o estudo em 6 etapas:

- Definição do “Concreto Velho”;
- Definição do “Concreto Novo”;

- Definição dos ângulos estudados;
- Avaliação do “Concreto Velho”;
- Avaliação do “Concreto Novo”;
- Avaliação dos resultados do sistema “Concreto Velho/Concreto Novo”.

3.2 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ESTUDO

Considerou-se como variáveis independentes, as seguintes características:

- Ângulo da junta de união entre concreto antigo e novo;
- Tipo de corpo de prova;

As variáveis dependentes, por sua vez, consideram-se as características apresentadas pelo compósito tanto em estado fresco quanto endurecido, sendo avaliadas, durante o desenvolvimento dos concretos e após elaboração dos mesmos. A seguir são apresentadas tais variáveis dependentes.

- Consistência de moldagem dos concretos;
- Traço do concreto antigo;
- Traço do concreto novo;
- Resistência à compressão axial dos concretos.;
- Tipo de cura;
- Idades de ruptura dos corpos de prova;
- Método de moldagem.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais utilizados foram caracterizados através de ensaios padronizados pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, ou, na falta destas, por normalização estrangeira e se encontram elencados ao longo deste item, subdividido pelo tipo do material.

3.3.1 Aglomerante

Como aglomerante, nesta pesquisa, foram utilizados o cimento Portland, CII-F-32 para o concreto antigo e CP V-ARI para o concreto novo. Nas tabelas 4, à 9 são apresentadas as composições do cimento utilizado na pesquisa, fornecidas pelo fabricante.

Tabela 4 – Ensaio químicos do cimento CP II-F-32

CIMENTO CP II-F-32		
PF	%	6,35
SiO ₂	%	17,58
Al ₂ O ₃	%	4,33
Fe ₂ O ₃	%	2,63
CaO	%	59,95
MgO	%	5,60
SO ₃	%	2,73
Na ₂ O	%	0,25
K ₂ O	%	0,96
RI	%	1,74
CaO livre	%	0,71
CO ₂	%	2,49
Cl	%	0,01

Fonte: Fabricante do cimento

Tabela 5 – Ensaio físicos do cimento CP II-F-32

CIMENTO CP II-F-32		
# 200	%	0,32
# 325	%	6,33
Início Pega	h: min	4:50
Fim Pega	h: min	5:50
Blaine	cm ² /g	4244
Cons.	%	27,6
Exp. Quente	mm	0,14
Massa Esp.	g/cm ³	3,10

Fonte: Fabricante do cimento

As características mecânicas do cimento utilizado, mais precisamente no que concerne a resistência à compressão, foram obtidas conforme a NBR 7215(ABNT,1997) para uma argamassa padrão. Os valores médios obtidos constam da Tabela 6.

Tabela 6 – Ensaio de resistência a compressão do cimento CP II-F-32

CIMENTO CP II-F-32		
R 1	MPa	18,6
R 3	MPa	31,2
R 7	MPa	36,4
R 28	MPa	42,7

Fonte: Fabricante do cimento

A seguir são apresentados resultados do cimento CP V-ARI.

Tabela 7 – Ensaio químicos do cimento CP V-ARI

CIMENTO CP V-ARI		
PF	%	3,20
SiO ₂	%	18,26
Al ₂ O ₃	%	4,55
Fe ₂ O ₃	%	2,76
CaO	%	60,18
MgO	%	5,84
SO ₃	%	2,99
Na ₂ O	%	0,26
K ₂ O	%	0,97
RI	%	0,88
CaO livre	%	0,63
CO ₂	%	2,22
Cl	%	0,01

Fonte: Fabricante do cimento

Tabela 8 – Ensaio físicos do cimento CP V-ARI

CIMENTO CP V-ARI		
# 200	%	0,0
# 325	%	0,54
Início Pega	h: min	3:10
Fim Pega	h: min	4:15
Blaine	cm ² /g	4551
Cons.	%	29,6
Exp. Quente	mm	0,27
Massa Esp.	g/cm ³	3,06

Fonte: Fabricante do cimento

As características mecânicas do cimento utilizado, mais precisamente no que concerne a resistência à compressão, foram obtidas conforme a NBR 7215(ABNT,1997) para uma argamassa padrão. Os valores médios obtidos constam da tabela 9.

Tabela 9 – Ensaio de resistência a compressão do cimento CP V-ARI

CIMENTO CP V-ARI		
R 1	MPa	26,56
R 3	MPa	38,44
R 7	MPa	43,69
R 28	MPa	50,98

Fonte: Fabricante do cimento

As análises foram concedidas e realizadas pela fabricante do cimento.

3.3.2 Agregados Convencionais

Neste trabalho o agregado miúdo é proveniente de captação em cava e o gráudo utilizado proveniente de britagem, sendo ambos secos em estufa. Sua caracterização está conforme estabelecem a NBR 7211(ABNT,2009). Na Figura 3 consta os dados do agregado miúdo utilizado, ensaiado conforme NBR NM 248(ABNT,2003) e NBR NM 52(ABNT,2009):

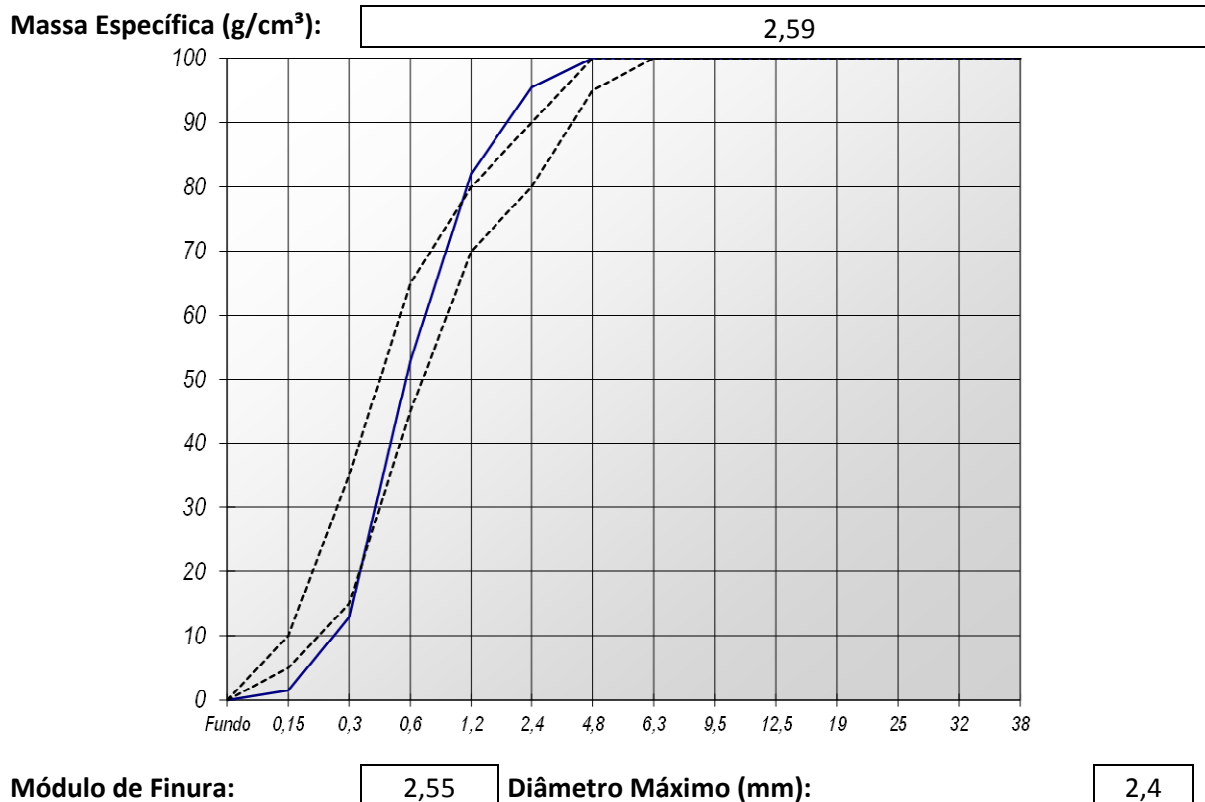
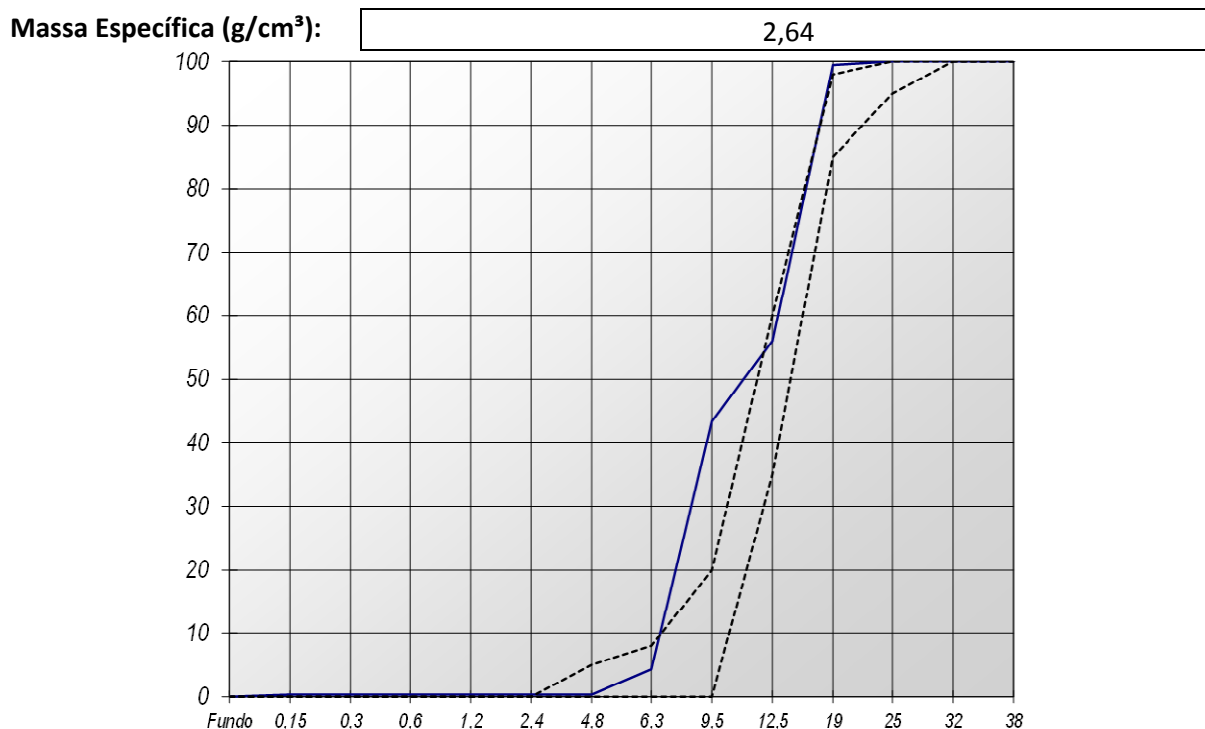


Figura 3 – Ensaio de granulometria e massa específica do agregado miúdo

Fonte: O autor

Na Figura 4 consta os dados do agregado graúdo utilizado, ensaiado conforme NBR NM 248(ABNT,2003) e NBR NM 53(ABNT,2009):



Módulo de Finura:

6,55

Diâmetro Máximo (mm):

19

Figura 4 – Ensaio de granulometria e massa específica do agregado graúdo

Fonte: O autor

Os agregados utilizados nesta pesquisa têm origem na região da Grande Curitiba.

3.3.3 Água de Amassamento

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

3.3.4 Concreto

A confecção dos corpos de prova cilíndricos e prismáticos baseou-se na Norma Brasileira NBR 5738(ABNT,2015).

Para a mistura do concreto definiu-se a colocação dos materiais na seguinte ordem com tempo de mistura de 4 minutos após o último material:

1º - Brita.

2º - Parte da quantidade de água.

3º - Cimento e adição no caso de concreto novo.

4º - Areia.

5º - Restante da água com aditivo no caso concreto novo.

O traço definido para o “concreto velho” foi visando a resistência mínima aos 28 dias, estabelecida na norma NBR 6118(ABNT,2014) de 25 MPa e abatimento de 140 ± 20 mm no *slump test*. A escolha do abatimento se deu pelo fato da maioria da mão de obra hoje da construção civil preferirem concreto mais fluído, sendo um concreto mais próximo ao usual rodado em obra.

O quantitativo do “Concreto Velho” para 1 m³ utilizando cimento CP II-F-32 está apresentado na Tabela 10:

Tabela 10 – Traço “concreto velho” com CII-F-32

Material	Cimento	Ag. Miúdo	Ag. Graúdo	água
Qtde (Kg)	320	795	1017	208
Unitário (Kg)	1	2,45	3,18	0,65

Fonte: O autor

O traço definido para o “concreto novo” foi visando a resistência aos 28 dias de 60 MPa e abatimento de 140 ± 20 mm. A escolha destas características era para simular um concreto específico de reforço, tendo em vista que seria inviável simular todos os tipos de concretos utilizados para reforço de estruturas no âmbito desta pesquisa.

O quantitativo do “Concreto Novo” para 1 m³ utilizando cimento CP V-ARI, adição de 10% de sílica ativa e aditivo superplastificante base de policarboxilato à 0,88% da massa de cimento está apresentado na Tabela 11:

Tabela 11 – Traço “concreto novo” com CP V ARI

Material	Cimento	Sílica ativa	Ag. Miúdo	Ag. Graúdo	Água	Aditivo
Qtde (Kg)	350	35	845	935	170	3,08
Unitário (Kg)	1	0,1	2,41	2,67	0,49	0,0088

Fonte: O autor

3.4 ENSAIOS

Conforme revisão bibliográfica adotou-se como levantamento da trabalhabilidade e resistências.

- *Slump Test* – NBR NM 67(ABNT, 1998).
- Determinação da resistência à compressão axial – NBR 5739(ABNT,2007).
- Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos – NBR 12142(ABNT,2010).

3.5 COMPARATIVO

Para comparação entre ângulos de junta, foi definido o ângulo de 45° em relação ao sentido da força aplicada tanto nos corpos de prova cilíndricos quanto prismáticos. Como um segundo ângulo para comparação, foi definido, 0° nos corpos de prova cilíndricos e 90° nos corpos de prova prismáticos.

Será moldado corpos de prova cilíndricos e prismáticos íntegros para referência, sendo a quantidade total descrita na Tabela 12:

Tabela 12 – Quantitativo de amostras

Quantidade de amostras por rompimento						
Material	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias	121 dias	TOTAL
CP cilíndrico concreto velho	4	4	4	4	4	20
CP cilíndrico concreto novo	4	4	-	-	-	8
CP prismático concreto velho	-	4	-	-	4	8
CP prismático concreto novo	-	4	-	-	-	4
CP cilíndrico 90°	-	4	-	-	-	4
CP cilíndrico 45°	-	4	-	-	-	4
CP prismático 90°	-	4	-	-	-	4
CP prismático 45°	-	4	-	-	-	4
TOTAL DE AMOSTRAS DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS						36
TOTAL DE AMOSTRAS DE CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS						20
TOTAL DE AMOSTRAS DE CORPOS DE PROVA						56

Fonte: O autor

3.5.1 Estrutura da pesquisa

O programa experimental tem como objetivo avaliar a influência da variação do ângulo da junta entre concreto antigo/novo conforme Figura 5:

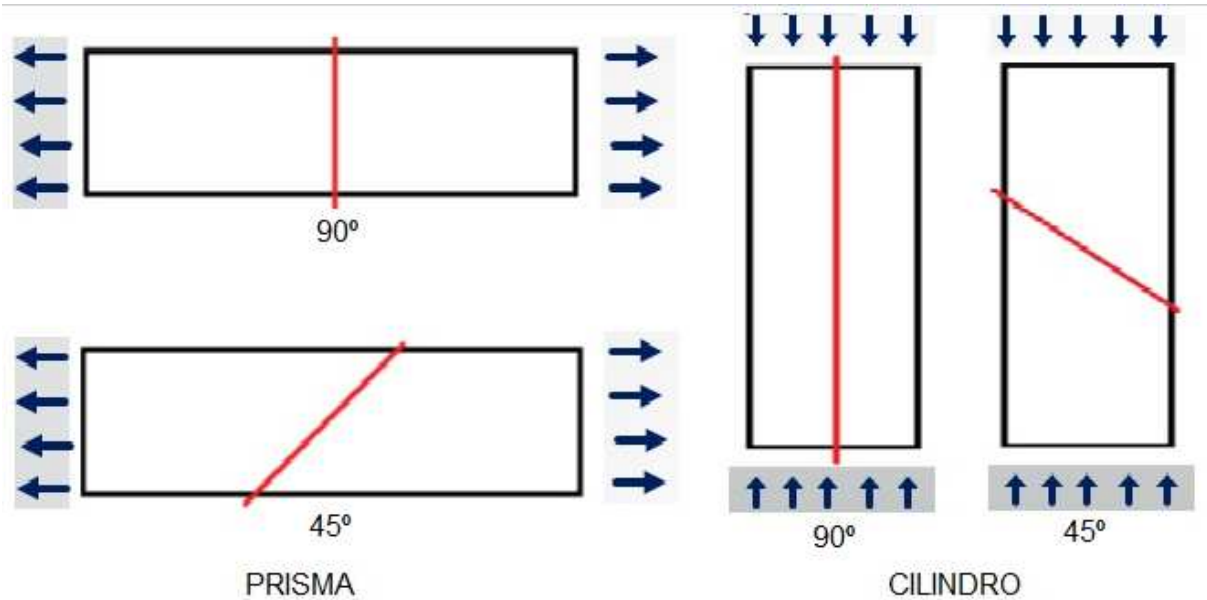


Figura 5 – Modelo das junções dos corpos de prova
Fonte: O autor

Para tal, a pesquisa foi dividida nas seguintes etapas apresentadas na Figura 6:

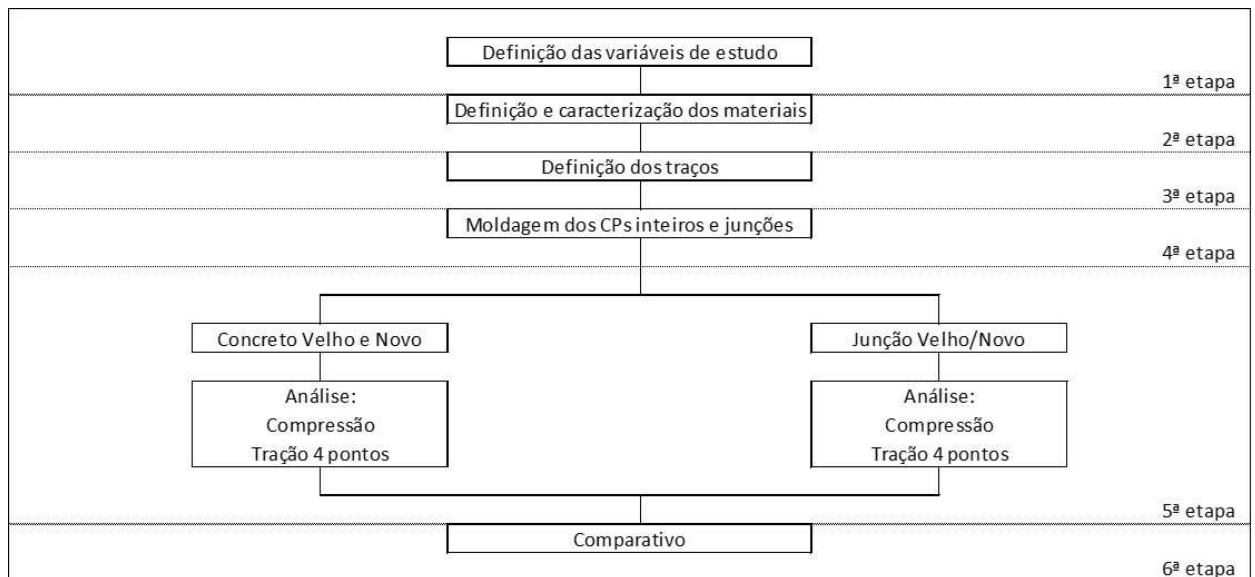


Figura 6 – Etapas da pesquisa
Fonte: O autor

3.5.2 Confeção dos concretos e moldagens

Os corpos de prova na prática foram moldados da seguinte forma:

- Corpos de prova cilíndricos: Utilização de isopor em formato cilíndrico, cortado nos ângulos $45^\circ / 90^\circ$, reforçado com fita de filme de polietileno (*Silver Tape*) e tiras de PET na face de contato com o concreto para preenchimento de metade do molde.
- Corpos de prova prismáticos: Utilização de chapa cimentícia de 3 mm, moldada com cimento CP V-ARI, aditivo superplastificante, reforçada com fibras de polipropileno e envolta em filme de polietileno (*Silver Tape*) para divisão no molde.

O preparo dos moldes, confecção do concreto e moldagem nas formas, está apresentado nas Figuras 7 até 16.



Figura 7 – Isopor de preenchimento e placa cimentícia

Fonte: O autor



Figura 8 – Preenchimento dos moldes com isopor

Fonte: O autor



Figura 9 – Ensaio slump test no “concreto velho”
Fonte: O autor



Figura 10 – Moldagem dos corpos de prova divididos
Fonte: O autor



Figura 11 – Corpos de prova cilíndricos divididos – secção concreto velho
Fonte: O autor



Figura 12 – Divisão dos moldes prismáticos

Fonte: O autor



Figura 13– Corpos de prova prismáticos divididos – secção concreto velho

Fonte: O autor



Figura 14 – Ensaio *slump test* no “concreto novo”

Fonte: O autor



Figura 15 – Moldagem corpos de prova cilíndricos – secção concreto novo
Fonte: O autor



Figura 16 – Moldagem corpos de prova prismáticos – secção concreto novo
Fonte: O autor

Para preparação da ponte de aderência entre os concretos velho e novo, foi feito lixamento com escova de aço e lixa para massa nr. 60. Para auxílio à ponte de aderência foi utilizado uma resina sintética de cor branca livre de cloretos de composição básica à base de copolímero vinílico. Nas Figuras 17 à 19 está apresentado os corpos de prova unidos e sua posição na prensa.



Figura 17 – Corpos de prova prismáticos após união “concreto velho/novo”
Fonte: O autor



Figura 18 – Corpos de prova cilíndricos após união “concreto velho/novo”
Fonte: O autor



Figura 19 – Posição corpo de prova prismático na prensa
Fonte: O autor

As moldagens e os ensaios foram realizados no laboratório da empresa fornecedora dos cimentos:

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 RESULTADOS CONCRETO VELHO

Os resultados obtidos com o rompimento de corpos de prova cilíndricos ao longo do tempo do concreto velho estão dispostos na Tabela 13:

Tabela 13 – Resultados ao longo dos dias do concreto “velho” à compressão

Resistência (MPa) X Idade - Concreto Velho					
Amostra	7 dias	28 dias	56 dias	91 dias	121 dias
CP Cilíndrico 1	20,9	25,6	26,7	27,7	28,3
CP Cilíndrico 2	20,4	25,3	26,4	27,3	28,0
CP Cilíndrico 3	19,9	24,8	26,0	26,9	27,5
CP Cilíndrico 4	19,9	24,7	25,8	26,8	27,0
Média	20,3	25,1	26,2	27,2	27,7
Desvio Padrão	0,45	0,45	0,43	0,39	0,60
Coef. Variação (%)	2,2	1,8	1,6	1,4	2,2

Fonte: O autor

Os resultados obtidos com o rompimento de corpos de prova prismáticos ao longo do tempo do concreto velho estão dispostos na Tabela 14:

Tabela 14 – Resultados ao longo dos dias do concreto “velho” à tração na flexão de 4 pontos

Resistência Flexão 4 Pontos (MPa) X Idade - Concreto Velho		
Amostra	28 dias	121 dias
CP Prismático 1	3,6	3,7
CP Prismático 2	3,4	3,5
CP Prismático 3	3,3	3,2
CP Prismático 4	3,1	3,1
Média	3,3	3,4
Desvio Padrão	0,19	0,30
Coef. Variação (%)	5,8	8,8

Fonte: O autor

4.2 RESULTADOS CONCRETO NOVO

Os resultados obtidos com o rompimento de corpos de prova cilíndricos ao longo do tempo do concreto novo estão dispostos na Tabela 15:

Tabela 15 – Resultados ao longo dos dias do concreto “novo” à compressão

Resistência (MPa) X Idade - Concreto Novo		
Amostra	7 dias	28 dias
CP Cilíndrico 1	55,5	61,7
CP Cilíndrico 2	53,5	59,4
CP Cilíndrico 3	52,9	59,0
CP Cilíndrico 4	52,0	58,6
Média	53,5	59,7
Desvio Padrão	1,46	1,40
Coef. Variação (%)	2,7	2,3

Fonte: O autor

Os resultados obtidos com o rompimento de corpos de prova prismáticos inteiros ao longo do tempo do concreto novo estão dispostos na Tabela 16:

Tabela 16 – Resultados ao longo dos dias do concreto “novo” à tração na flexão de 4 pontos

Resistência Flexão 4 Pontos (MPa) X Idade - Concreto Novo	
Amostra	28 dias
CP Prismático 1	5,5
CP Prismático 2	5,0
CP Prismático 3	4,8
CP Prismático 4	4,8
Média	5,0
Desvio Padrão	0,33
Coef. Variação (%)	6,6

Fonte: O autor

4.3 RESULTADOS CONCRETO VELHO / NOVO

Os resultados obtidos com o rompimento de corpos de prova cilíndricos com junção aos 45° estão dispostos na Tabela 17:

Tabela 17 – Resultados à compressão com junção concreto velho/novo à 45°

Resistência (MPa) junção 45°	
Amostra	28 dias
CP Cilíndrico 1	25,8
CP Cilíndrico 2	24,6
CP Cilíndrico 3	24,0
CP Cilíndrico 4	22,5
Média	24,2
Desvio Padrão	1,39
Coef. Variação (%)	5,7

Fonte: O autor

Os resultados obtidos com o rompimento de corpos de prova cilíndricos com junção aos 90° estão dispostos na Tabela 18:

Tabela 18 – Resultados à compressão com junção concreto velho/novo à 90°

Resistência (MPa) junção 90°	
Amostra	28 dias
CP Cilíndrico 1	30,8
CP Cilíndrico 2	30,3
CP Cilíndrico 3	29,1
CP Cilíndrico 4	28,6
Média	29,7
Desvio Padrão	1,2
Coef. Variação (%)	3,4

Fonte: O autor

Os resultados obtidos com o rompimento na tração de 4 pontos de corpos de prova prismáticos com junção aos 45° estão dispostos na Tabela 19:

Tabela 19 – Resultados da tração na flexão aos 4 pontos com junção concreto velho/novo à 45°

Resistência Flexão 4 Pontos (MPa) junção 45°	
Amostra	28 dias
CP Prismático 1	3,3
CP Prismático 2	3,1
CP Prismático 3	2,7
CP Prismático 4	2,6
Média	2,9
Desvio Padrão	0,35
Coef. Variação (%)	12,1

Fonte: O autor

Os resultados obtidos com o rompimento na tração de 4 pontos de corpos de prova prismáticos com junção aos 90° estão dispostos na Tabela 20:

Tabela 20 – Resultados da tração na flexão aos 4 pontos com junção concreto velho/novo à 90°

Resistência Flexão 4 Pontos (MPa) junção 90°	
Amostra	28 dias
CP Prismático 1	2,8
CP Prismático 2	2,2
CP Prismático 3	2,1
CP Prismático 4	2,1
Média	2,3
Desvio Padrão	0,33
Coef. Variação (%)	14,3

Fonte: O autor

As Figuras 20 à 25 apresenta as rupturas dos corpos de prova unificados após ensaios.



Figura 20 – Rompimento CP cilíndrico junção 90° “concreto velho/novo”

Fonte: O autor



Figura 21 – Rompimento junção 90° “concreto velho/novo” dos 4 corpos de prova
Fonte: O autor.



Figura 22 – Rompimento CP cilíndrico junção 45° “concreto velho/novo”
Fonte: O autor.



Figura 23 – Detalhe dos corpos de prova de junção 45° após rompimento
Fonte: O autor.



Figura 24 – Detalhe dos corpos de prova prismáticos de junção 90° após rompimento
Fonte: O autor.



Figura 25 – Detalhe dos corpos de prova prismáticos e junção 45° após rompimento
Fonte: O autor.

Percebe-se uma pequena aderência do concreto “velho” no concreto “novo” após a separação de alguns corpos de prova (prismáticos e cilíndricos) devido aos ensaios.

Nos corpos de prova cilíndricos de junção 90°, percebeu-se o esmagamento do concreto velho, porém a maioria das amostras não houve separação entre concretos

Nos corpos de prova prismáticos de junção 45°, percebeu-se que em 3 deles a trinca percorreu parte na junção e parte no concreto “velho”. No 4º prisma a trinca

se abriu sobre um dos pontos de inserção de carga do ensaio de flexão aos 4 pontos.

4.4 COMPARAÇÕES

Comparando-se os valores médios de resultados alcançados nos ensaios de rompimento de corpo de prova cilíndrico e adicionando-se limites inferior e superior baseado no desvio padrão tem-se a Figura 26:

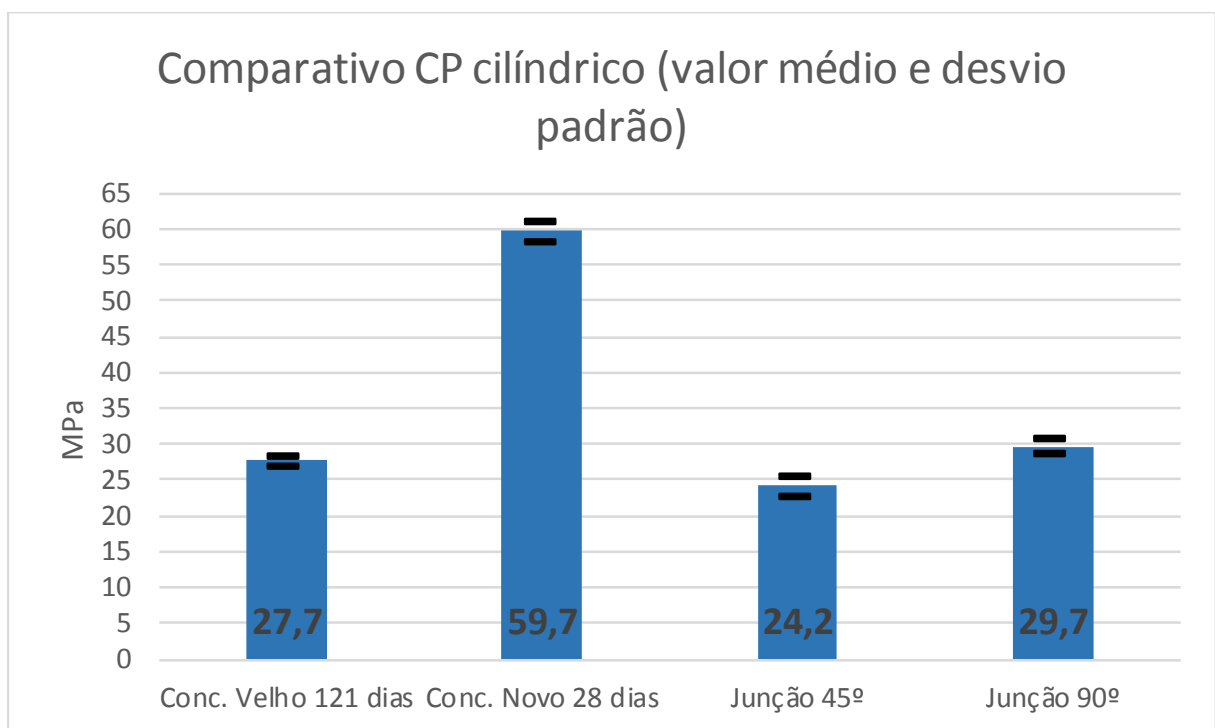


Figura 26 – Gráfico comparativo de resultados médios entre CP cilíndricos
Fonte: O autor

Nota-se que em relação ao limite superior do concreto “velho” (28,3), o limite inferior da junção à 90º (28,7) representou uma resistência 0,4 MPa acima, ou seja, podemos considerar que a junção 90º apresentou desempenho superior ao concreto “velho”. Levando-se em conta os valores médios, a junção 90º representou um aumento de 7,2% na resistência em relação ao concreto “velho”.

Em compensação, comparando o limite inferior do concreto “velho” (27,1) com o limite superior da junção 45º (25,6), temos uma resistência 1,5 MPa abaixo, ou seja, podemos considerar que a junção 45º apresentou desempenho inferior ao

concreto “velho”. Levando-se em conta valores médios, a junção 45° representou uma diminuição de 12,5% em relação ao concreto “velho”.

Comparando-se as duas junções (90° e 45°), percebe-se que o limite inferior da junção de 90° (28,7) obteve uma resistência de 3,01 MPa acima do limite superior da junção 45° (25,6). Dessa forma, observando os valores médios deste estudo, a junção 90° alcançou um desempenho 23,6% acima da junção 45°, frente a força de compressão exercida sobre o cilindro.

Comparando-se os valores médios de resultados alcançados nos ensaios de rompimento de corpo de prova prismático no ensaio de tração na flexão aos 4 pontos e adicionando-se limites inferior e superior baseado no desvio padrão tem-se a Figura 26:

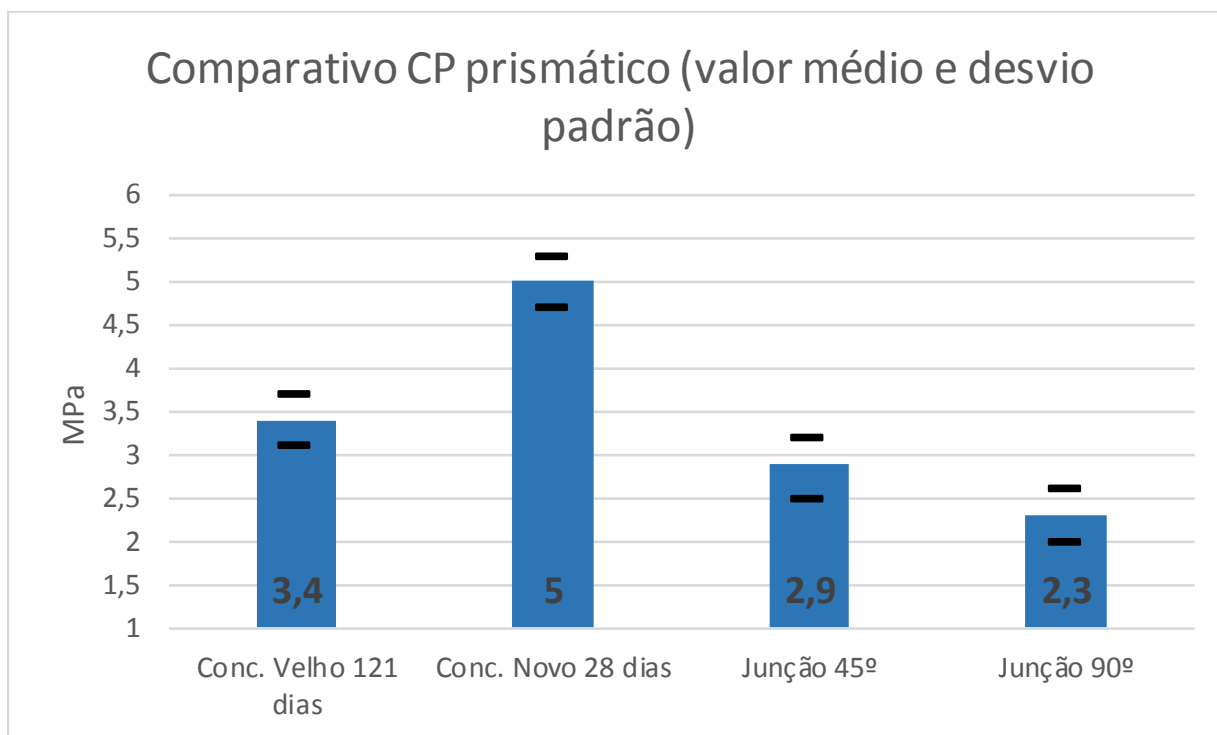


Figura 27 – Gráfico comparativo de resultados médios entre os CP prismáticos

Fonte: O autor

Em relação ao limite inferior do concreto “velho” (3,1), o limite superior da junção à 90° (2,6) representou uma resistência 0,5 MPa abaixo, a junção 90° apresentou desempenho inferior ao concreto “velho”. Levando-se em conta os valores médios, a junção 90° representou uma diminuição de 32% na resistência à tração na flexão de 4 pontos em relação ao concreto “velho”.

Em compensação, comparando o limite inferior do concreto “velho” (3,1) com o limite superior da junção 45° (3,2), tem-se dois valores dentro de uma mesma faixa, ou seja, considerando os limites no desvio padrão, a junção 45° apresentou desempenho similar ao concreto “velho” dentro do seu limite inferior de desvio padrão, frente a força de tração na flexão aos 4 pontos exercida sobre o prisma.

Comparando-se as duas junções (90° e 45°), percebem-se que o limite superior da junção de 90° (2,6) está dentro da faixa do limite inferior da junção 45° (2,5). Dessa forma, considerando os limites no desvio padrão, a junção 90° apresentou desempenho similar à junção 45° dentro do seu limite inferior de desvio padrão, frente a força de tração na flexão aos 4 pontos exercida sobre o prisma.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados pode-se formar as seguintes conclusões:

- Para os corpos de prova cilíndricos, tivemos desempenho da junção 90° superior ao concreto “velho”, tendo como possível explicação o acréscimo propiciado pelo concreto de resistência superior e sua ruptura pela diferença na deformação dos concretos em junção. Já para a junção 45°, seu desempenho inferior pode estar relacionado a maior força cisalhante derivada do ângulo de junção entre os concretos.
- Para os corpos de prova prismáticos, embora nenhuma junção superou o concreto “velho”, o desempenho da junção 45° frente a junção 90°, sugere que a maior área de contato entre os concretos, propiciado pelo ângulo 45° foi o fator determinante pelo fato de se encontrar uma maior área para adesão entre concretos.

Um ponto de interesse na pesquisa que embora não era um objetivo inicial, mas foi de encontro com alguns trabalhos publicados, como é o caso da descrição apresentada no ACI 363R-10 (ACI, 2010) sobre a relação entre tração/compressão nos concretos convencionais que se situa acima da faixa de 10%, já nos CAD, esta relação tende a diminuir, podendo chegar a 5%. No caso deste estudo a relação média ficou em 8,3%.

Como sugestão para pesquisas futuras, pode-se verificar os efeitos com outros ângulos de junção, bem como diferentes tipos de concretos para união e diferentes tipos de materiais para execução da ponte de aderência.

REFERÊNCIAS

- Aïtcin, P. C. **Concreto de Alto Desempenho**. Tradução de Geraldo G. Serra. 1ª edição, editora Pini, São Paulo, 2000.
- American Concrete Institute. **Committee 363**. Report on High-Strength Concrete, ACI 363R-10, Farmington Hills (USA), 2010.
- American Society for Testing and Materials - **ASTM D 907**: Standard Terminology of Adhesives, 2015.
- Andrade, C. P., **Manual para Diagnostico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**, Editora Pini, São Paulo, 1992.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003, 6 pgs.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009, 6 pgs.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998, 8 pgs.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos de prova de concreto, cilíndricos ou prismáticos – procedimentos. Rio de Janeiro, 2015, 4pgs.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2007, 9 pgs.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2014, 238 pgs.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação brasileira. Rio de Janeiro, 2009, 9 pgs.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997, 8 pgs.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009, 8 pgs

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12142**: Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010, 5 pgs.

Bissonnette, B.; Courard, L.; Beushausen, H.; Fowler, D.; Trevino, M.; Vaysburd, A. **Recommendations for the repair, the lining or the strengthening of concrete slabs or pavements with bonded cement-based material overlays**. Materials and Structures, vol 46, p. 481- 494; 2013.

Cánovas, M. F. **Patología y Terapéutica del Hormigon Armado**. Madrid: ETS de Ingenieros de Caminos, 1994.

Carneiro, A. M. P., **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**, Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

Comité Euro-International du Béton (CEB), **FIP Model Code 1990**, Bulletin d'Information n° 205, Londres, Inglaterra, 1993.

Courard, L.; Pietrowski, T.; Garbacz, A. **Near-to-surface properties affecting bond strength in concrete repair**. Cement & Concrete Composites, vol. 46, p.73-80, 2013.

Doria, M.R.; Sales, A. T.; Andrade; N. F. **Aderência aço-concreto e entre concretos de diferentes idades em recuperação de estruturas**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, Vol. 8, nr. 5, 2015.

Galleto A. **Reparo de Estruturas de Concreto: Contribuição ao Estudo da Aderência**, Universidade Estadual de Campinas – Brasil, 2005.

Garcia, S. R. A. **Avaliação da Resistência de Aderência de Materiais para Reparo de Estruturas de Concreto**, Dissertação de Mestrado em Estruturas - Faculdade de Tecnologia, UNB, Brasília, 1998.

Gutierrez, P. A.; Cánovas, M. F. **High Performance Concrete. Requirements for Constituent materials and mix proportioning**. ACI Materials Journal, Detroit, EUA, v. 93, n.3, pgs. 233-241, 1996.

Helene, P. R. L. **Ensaio para Controle de Adesivos Epoxi Destinados a Estrutura de Concreto** - Tecnologia de Edificações (IPT) - Sao Paulo: Editora Pini, 1988.

Helene, P. R. L.; Pereira, F. **Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón**, Paulo Helene e Fernanda Pereira editores, São Paulo, 2003.

Helene, P. R. L.; Terzian, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. 1ª edição. São Paulo: Editora Pini, 1992.

Helene, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 1ª edição. São Paulo: Editora Pini, 1992

Latorraca, J. V. F. **Eucalyptus sp na produção de painéis de cimento-madeira**. Tese de Doutorado, 182 p. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

Mehta, P.K; Monteiro, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1ª edição. São Paulo: Editora Pini, 1994

Mendes, S. E. da S. **Estudo Experimental de Concreto de Alto Desempenho Utilizando Agregados Graúdos Disponíveis na Região Metropolitana de Curitiba**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Pós Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, Curitiba, 2002.

Neville, A. M. **Propriedades do Concreto**. Editora Pini, 2ª edição. São Paulo, 1997.

Petrucci, E.G.R. **Concreto de cimento portland**. Porto Alegre: Globo, 1978.

Portal do Concreto. **Agregados para concreto**. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/agregado.html>>. Acesso em: 06 jul. 2016.

US Army Corps of Engineers, **EM 1110-2-2002** – Engineering and Design-Evaluation and and Repair of Concrete Structures, Washington, USA, 1995.