

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**  
**FABÍOLA NOGUEIRA VELOSO**

**CONCRETO DE CIMENTO *PORTLAND* MODIFICADO COM POLÍMERO**

**FORMIGA - MG**  
**2014**

FABÍOLA NOGUEIRA VELOSO

CONCRETO DE CIMENTO *PORTLAND* MODIFICADO COM POLÍMERO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR, como requerimento parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Matheus de Faria Oliveira e Barreto

FORMIGA - MG

2014

V441      Veloso, Fabíola Nogueira.  
              Concreto de cimento *Portland* modificado com  
polímeros / Fabíola  
              Nogueira Veloso. - 2014.  
              89 f.

                  Orientador: Matheus de Faria e Oliveira Barreto.  
                  Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em  
Engenharia Civil) –  
                  Centro Universitário de Formiga – UNIFOR, Formiga,  
2014.

                  1. Resistência mecânica. 2. Resinas. 3. Polimérico. I.  
Título.

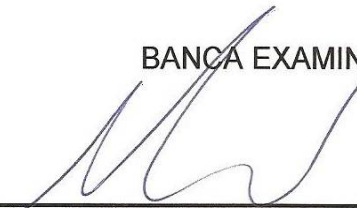
CDD 624.1834

Fabiola Nogueira Veloso

CONCRETO DE CIMENTO *PORTLAND* MODIFICADO COM POLÍMERO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

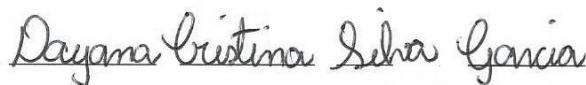
BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dr. Matheus de Faria Oliveira e Barreto

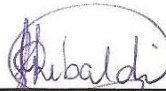
Orientador



---

Dayana Cristina Silva Garcia

UNIFOR



---

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

UNIFOR

Formiga, 04 de Novembro de 2014.

A Deus, ao meu pai Divino, a minha mãe  
Maria Auxiliadora e a minha irmã Ana  
Luiza .

## AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus, porque sem Ele não chegaria até aqui. Vem DELE tudo que sou que tenho e que espero. Minha inspiração e minha fonte de renovação.

Aos meus pais, Divino e Auxiliadora, que me deu incentivo na realização desde trabalho, por sempre confiarem no meu potencial e que não mediram esforços para me ajudar.

A minha irmã Ana Luiza e ao meu namorado Thúlio pela compreensão durante minha ausência e por iluminarem meu caminho com afeto.

Ao meu orientador Matheus pela paciência, ensinamento e por confiar em mim à responsabilidade de ser sua orientada.

A empresa Coplast por conceder o material polimérico para a realização deste trabalho.

As empresas Pavidez e Britamil, em especial aos laboratoristas Vitor, Fabio e Danilo por ceder o laboratório e me ajudar nos ensaios.

Aos meus colegas Nathália e William, que de alguma forma pode transmitir seus conhecimentos para a conclusão do trabalho.

Aos meus colegas de sala de aula pelo companheirismo.

Aos mestres, que foram impecáveis para que realizasse com sucesso a minha caminhada até ao décimo período.

E a todos que acreditaram e torceram por mim.

## RESUMO

O presente trabalho consiste na análise de concretos modificados com polímeros virgem e reciclado que são resinas a base de polímeros como aglomerantes incorporados na matriz do cimento, substituindo parcialmente ou totalmente o cimento Portland. Está cada vez mais avançadas as tecnologias associadas ao concreto, com o propósito de melhorar as propriedades e consequentemente melhorar a resistência do mesmo. Uma dessas tecnologias é a adição do polímero, sendo utilizado tanto quando a estrutura já estiver concretada, fazendo assim uma polimerização, ou na hora da mistura em betoneira juntamente com os agregados. Tais métodos têm como finalidade específica preencher os poros vazios, que, no entanto não estão vazios, e sim preenchidos por água e ar, pela resina a base de polímero. Existem três tipos de associações de resinas poliméricas no concreto, são esses: concreto impregnado por polímero, o concreto polimérico e o concreto modificado por polímero. O objetivo é comparar a eficiência das resinas poliméricas com concreto convencional, utilizando de experimentos laboratoriais dosados e preparados a fim de obter os melhores resultados. Os resultados obtidos através das análises dos gráficos gerados apresentaram uma eficiência para qualquer tipo de polímero utilizado, tanto virgem como reciclado, uma vez que estes materiais seriam para descarte. Olhando pelo lado econômico, o polímero de polipropileno virgem tem a propriedade de modificar o concreto em menor eficiência que o polímero de polipropileno virgem, porém é mais viável, pois é mais econômico.

Palavras-chave: Resistência mecânica, Resinas, Polimérico.

## **ABSTRACT**

This present work is about the analysis of concrete modified with virgin and recycled polymers. Resins are polymer-based using resin based on polymer as agglomerating agent incorporated in the cement matrix, substituting partially or totally the Portland cement. Technologies associated to concrete are each time more advanced, in order to improve its resistance and properties. One of those techniques is adding polymer either when the structure is already with concrete, doing a polymerase chain, or at the cement mixer with the others aggregates. Such methods have as specific ends to fill in the pores, which are not actually empty but filled with water and air, with the resin on polymer basis. There are three types of association of polymer resins in concrete: impregnated by polymer concrete, polymeric concrete and concrete modified by polymer. The objective is to compare the efficiency of polymer resins with conventional concrete, measured using laboratory experiments and prepared to obtain the best result. The results obtained from the analyzes of the generated graphs showed an efficiency for any type of polymer used both virgin and recycled, since these materials would be for disposal. looking for economic side, the virgin polypropylene polymer has the property to modify the concrete in lower efficiency than that of virgin polypropylene polymer, but is more feasible because it is more economical.

Keywords: Mechanical strength, Resins, Polymer.



## LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 – Principais compostos do cimento <i>Portland</i> .....	18
Figura 2 – Esquemática da formação e hidratação do cimento <i>Portland</i> .....	19
Figura 3 – Calor de reação do cimento <i>Portland</i> durante a pega e o período inicial de endurecimento.....	20
Figura 4 – Classificação quanto a forma molecular fixada por ligações químicas.....	33
Figura 5 – Classificação dos polímeros quanto ao encadeamento das unidades monoméricas.....	34
Figura 6 – Classificação dos polímeros quanto ao arranjo dos átomos .....	34
Figura 7 – Classificação quanto ao modo de preparação – Condensação .....	35
Figura 9 – Esquema representando o processo geral de produção do PIC.....	40
Figura 10 – Principais látex usados com o cimento <i>Portland</i> como aglomerantes....	44
Figura 11 – Processo de modificação de argamassas com látex e a formação do filme de polímero.....	45
Figura 12 – Dosagem do concreto polimérico .....	46
Figura 13 – Algumas propriedades do concreto polimérico.....	49
Figura 14 – Fluxograma do procedimento adotado no ensaio .....	55
Figura 15 – Materiais utilizados para confecção dos corpos de prova .....	58
Figura 16 – Polímeros de polipropileno virgem e reciclado.....	58
Figura 17 – Ensaio de abatimento do tronco de cone – <i>Slump Test</i> .....	60
Figura 18 – Moldes representando os lotes .....	61
Figura 19 – Ensaio de tração por compressão diametral .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de cimentos <i>Portland</i> .....	21
Tabela 2 – Classificação dos aditivos conforme NBR 11768 (EB-1763/1992).....	26
Tabela 3 – Limites na distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	30
Tabela 4 – Limites na distribuição granulométrica do agregado graúdo .....	31
Tabela 5 – Propriedades mecânicas típicas do PIC.....	39
Tabela 6 – Propriedades mecânicas típicas do concreto polímero .....	42
Tabela 7 – Propriedades típicas do PIC, PMC E PC.....	53
Tabela 8 – Análise granulométrica da areia por peneiramento .....	56
Tabela 9 – Análise granulométrica da brita 1 por peneiramento .....	57

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Média dos resultados dos ensaios de compressão axial com polímeros de polipropileno virgem .....	63
Gráfico 2 - Média dos resultados dos ensaios de compressão axial com polímeros de polipropileno reciclado.....	64
Gráfico 3 - Média dos resultados dos ensaios de compressão axial com polímeros de polipropileno virgem e reciclado .....	65
Gráfico 4 - Média dos resultados do ensaio de tração por compressão diametral com polímeros de polipropileno virgem.....	66
Gráfico 5 - Média dos resultados do ensaio de tração por compressão diametral com polímeros de polipropileno reciclado .....	67
Gráfico 6 - Média dos resultados dos ensaios de tração por compressão diametral com polímeros de polipropileno virgem e reciclado.....	68
Gráfico 7 - Comparação entre concreto modificado com polímero de polipropileno virgem e reciclado com concreto de alto desempenho .....	69
Gráfico 8 - Comparação entre a média da soma dos dois concretos em relação ao concreto de referência.....	70

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	14
2.	JUSTIFICATIVA .....	15
3.	OBJETIVOS .....	16
3.1	Objetivo Geral .....	16
3.2	Objetivo Específico .....	16
4.	REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
4.1	Concreto de Cimento <i>Portland</i> .....	17
4.1.1	Composição Química do Cimento .....	17
4.1.2	Hidratação do Cimento <i>Portland</i> .....	18
4.1.3	Pega e Endurecimento .....	19
4.1.4	Calor de Hidratação .....	20
4.1.5	Tipos de Cimento <i>Portland</i> .....	21
4.2	Concreto de Alto Desempenho .....	23
4.2.1	Características Mecânicas .....	23
4.2.2	Utilização do Concreto de Alto Desempenho .....	24
4.2.3	Dosagem do CAD .....	24
4.2.4	Aditivos.....	26
4.2.4.1	Aditivos Redutores de Água.....	27
4.2.4.2	Aditivos Superplastificantes.....	27
4.2.5	Adições Minerais .....	28
4.3	Agregados .....	28
4.3.1	Agregados Miúdos .....	29
4.3.2	Agregados Graúdos .....	30
4.4	Polímeros .....	31

4.4.1	Termoplásticos.....	35
4.4.2	Termofixos.....	36
4.4.3	Polímeros Mais Usados.....	37
4.5	CONCRETO POLIMÉRICO.....	38
4.5.1	Concreto Impregnado por Polímero (PIC).....	39
4.5.2	Concreto Polímero (PC).....	41
4.5.3	Concreto Modificado Por Polímero (CMP).....	43
4.5.4	Dosagem dos Concretos Poliméricos.....	46
4.5.5	Processo Produtivo.....	46
4.5.6	Mistura e Adensamento.....	47
4.5.7	Cura do Concreto.....	47
4.5.8	Limpeza e Segurança.....	48
4.5.9	Propriedades dos Concretos Poliméricos.....	48
4.5.9.1	Resistência a Tração e a Flexão.....	49
4.5.9.2	Resistência a Compressão.....	50
4.5.9.3	Módulo de Elasticidade.....	50
4.5.9.4	Fluência.....	50
4.5.9.5	Retração.....	51
4.5.9.6	Aderência.....	51
4.5.9.7	Resistência Química.....	51
4.5.9.8	Abrasão.....	51
4.5.9.9	Trabalhabilidade.....	52
4.5.9.10	Tempo de Pega.....	52
4.5.10	Fatores que Afetam as Propriedades dos Polímeros.....	53
5.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	54

<b>5.1</b>	<b> Materiais .....</b>	<b> 56</b>
<b>5.2</b>	<b> Métodos .....</b>	<b> 59</b>
<b>6.</b>	<b> RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b> 63</b>
<b>6.1</b>	<b> Ensaio de Resistência a Compressão Axial.....</b>	<b> 63</b>
<b>6.2</b>	<b> Ensaio de Resistência a Tração por Compressão Diametral.....</b>	<b> 66</b>
<b>6.3</b>	<b> Eficiência dos Polímeros .....</b>	<b> 68</b>
<b>6.4</b>	<b> Comparação Entre Concreto Modificado com Polímeros de Polipropileno Virgem e Reciclado e Concreto de Alto Desempenho em Relação ao Concreto Comum .....</b>	<b> 68</b>
<b>7.</b>	<b> CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b> 71</b>
	<b> REFERÊNCIAS.....</b>	<b> 73</b>
	<b> APÊNDICE A – REPRESENTAÇÃO DOS CÁLCULOS .....</b>	<b> 76</b>
	<b> APÊNDICE B – REPRESENTAÇÃO DAS TABELAS DOS GRÁFICOS.....</b>	<b> 82</b>
	<b> ANEXO A – REPRESENTAÇÃO DAS TABELAS E ÁBACO UTILIZADOS NOS CÁLCULOS .....</b>	<b> 86</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto de cimento *Portland* é muito utilizado nas construções, devido às suas propriedades mecânicas. Resiste a altos valores de compressão e flexão. Entretanto, essas estruturas podem apresentar algumas patologias, tais como fissuras e desgaste, colocando assim sua vida útil em risco.

Com o avanço da tecnologia, pesquisas estão sendo desenvolvidas com o intuito de melhorar as propriedades do concreto. Uma dessas é o uso de aditivos na massa de cimento que tem como característica aumentar consideravelmente a resistência do concreto. Outra tecnologia é o uso de resinas poliméricas incorporadas no concreto, substituindo totalmente ou parcialmente o cimento *Portland*. Estes, têm como objetivo diminuir a porosidade do concreto convencional.

Todavia é preciso testar e comparar se o uso de aditivos a base de polímeros encontrado no concreto de alto desempenho (CAD) juntamente com as resinas poliméricas, que não tem o mesmo valor dos aditivos, obtemos resultados satisfatórios na pesquisa.

No CAD podem-se observar nitidamente vantagens econômicas e construtivas, já que requerem menor custo e menor tempo de manutenção. Para o concreto polimérico, sua propriedade principal é diminuir a porosidade de estruturas, aumentando sua resistência.

O trabalho apresentado tem como objetivo verificar a viabilidade do uso dos materiais poliméricos, e comparar a eficiência de um concreto convencional com um concreto modificado com polímeros virgem e reciclado.

A importância desse trabalho é mostrar que tecnologias desenvolvidas têm o intuito de melhorar certas propriedades dos concretos, podendo ser ou não aprimoradas.

## 2. JUSTIFICATIVA

Devido ao seu baixo custo, compatibilidade com exigências ambientais e comportamento aceitável, o concreto de cimento *Portland* é o material mais utilizado em construções de estruturas.

Todavia, esse concreto pode apresentar patologias intensas e em grande incidência, acarretando desgaste da estrutura e possível rompimento. Tais soluções como reparos de estruturas, podem ficar inviáveis devido ao seu elevado custo.

O uso do concreto convencional vem sendo aprimorado com algumas tecnologias com o intuito de melhorar suas propriedades e desempenho, visando aumentar a resistência e a durabilidade.

Assim, o emprego de resinas poliméricas na matriz do cimento, provenientes de indústrias petroquímicas e óleos vegetais, vêm ganhando mais atenção e mais utilização no Brasil.

Dessa forma, o tema deste trabalho foi apresentado a fim de analisar o comportamento das resinas poliméricas no concreto de cimento *Portland* a fim de solucionar o problema de patologias do concreto.



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo Geral**

Verificar a viabilidade da utilização de agregados aglomerantes resinados a base de polímeros em concretos de cimento *Portland*.

#### **3.2. Objetivo Específico**

- Conceituar e classificar os concretos poliméricos, observando suas propriedades, dosagem, adensamento, cura, limpeza e segurança, levando em consideração a aplicação final do concreto;
- Descrever a empregabilidade dos materiais poliméricos no concreto;
- Apontar vantagens e desvantagens do uso de polímeros em concreto de cimento *Portland*;
- Comparar a eficiência do material polimérico, com concretos convencionais;
- Comparar a eficiência do material polimérico, com concretos de alto desempenho.

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

Será representada a seguir, a fundamentação teórica do trabalho, fazendo-se a base para os resultados e discussões do presente tema.

### 4.1. CONCRETO DE CIMENTO *PORTLAND*

Segundo Ferreira (2002), o concreto de cimento *Portland* ainda é muito utilizado devido sua estética, facilidade de moldagem, baixo custo, comportamento ambiental compatível com as exigências, grande economia de energia dentre outras vantagens.

Ainda de acordo com o mesmo autor, as patologias encontradas em grande incidência trazem desconforto visual e até mesmo a destruição da estrutura, ocasionando soluções inviáveis devido ao elevado custo.

Para Riboli (2012), a importância do concreto de cimento *Portland*, tem se guiado várias pesquisas, realizadas com intenção de melhorar a resistência mecânica e a durabilidade, que são as duas características mais relevantes do concreto de cimento *Portland*.

#### 4.1.1. Composição Química do Cimento

O cimento *Portland* é obtido por meio da calcinação de calcário. O que predomina é  $\text{CaCO}_3$  e materiais provenientes da argila, tais como  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e também outros constituintes considerados secundários, que são eles: Óxidos de magnésio, fosfatos, álcalis etc. A calcinação dessa mistura é feita em forno rotativo onde se obtém outro material de composto químico denominado clínquer. (NEVILLE, 1997, apud DAFICO, 2012, p. 1)

Os principais compostos do cimento *Portland* são apresentados na FIG. 1.

Figura 1– Principais compostos do cimento *Portland*

ABREVIACÃO	FÓRMULA / DENOMINAÇÃO	PROPORÇÃO (%)
C <sub>3</sub> S	3CaO.SiO <sub>2</sub> Silicato Tricálcico	55 – 60
C <sub>2</sub> S	2CaO.SiO <sub>2</sub> Silicato Dicálcico	15 – 10
C <sub>3</sub> A	3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Aluminato Tricálcico	10 – 12
C <sub>4</sub> AF	4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .FeO <sub>3</sub> Aluminato Tetracálcico	8 – 7
Outros	Gesso (CaSO <sub>4</sub> ), Alcalis (Na <sub>2</sub> O e K <sub>2</sub> O), Magnésio (MgO), Cal livre (CaO), Silicatos e Aluminatos, TiO <sub>2</sub> , Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaF <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , etc.	< 12

Fonte: MEHTA & MONTEIRO (1994, apud DÁFICO, 2012).

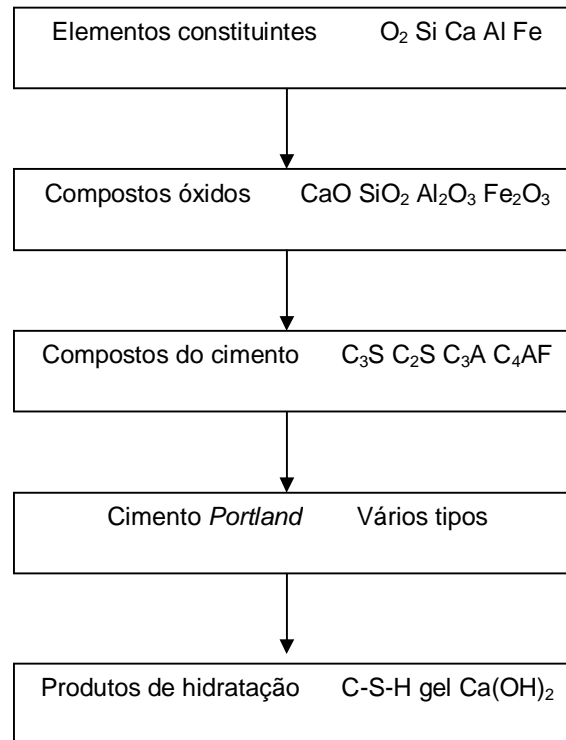
#### 4.1.2. Hidratação do Cimento *Portland*

Com 28 dias de cura, o concreto atinge aproximadamente 70 a 80% do grau de hidratação, que se completa ao longo dos 365 dias. (GUÉNOT-DELAHAINE, 1996; FAIRBAIRN, 2006, p. 85). Entretanto a hidratação do cimento *Portland* varia conforme a temperatura de cura, da relação de água e cimento, adição de aditivos e finura do cimento. (GONÇALVES; FILHO; FAIRBAIRN, 2006).

De acordo com Dafico, (2012, p. 3), geralmente substitui-se a relação água e cimento por sistema de água e silicato. Entretanto é admissível essa substituição tendo em vista que os silicatos devem estar em maior extensão e serem os constituintes mais eficazes.

A formação e a hidratação do cimento *Portland* é representada na FIG. 2.

Figura 2 – Esquemática da formação e hidratação do cimento *Portland*



Fonte: Neville e Brooks (2010)

#### 4.1.3. Pega e Endurecimento

Segundo Neville (1997), a pega é a transição do estado fluido para o estado sólido, diferentemente de pega de endurecimento que é o aumento da resistência do concreto após a solidificação da pega.

De acordo com Muniz (2008), existem dois períodos de tempo de pega: o início que é o tempo passado entre a união da água com o cimento *Portland*, e o fim, que é o tempo indispensável para que a massa obtenha dureza para se conservar a certa pressão.

Resumindo, a pega é o período que a pasta se solidifica, e o endurecimento é a resistência que a pasta ganha ao passar do tempo.

Muniz, (2008, p. 27), cita que alguns fatores alteram o tempo de pega, tais como relação de água de amassamento na pasta, a umidade do ar e a temperatura.

Muniz, (2008, p. 27), depois de misturada com a água ou durante a mistura, ocorre um enrijecimento rápido do cimento, chamado de falsa pega. Isso acontece sem geração de calor, fato que diferencia da pega instantânea.

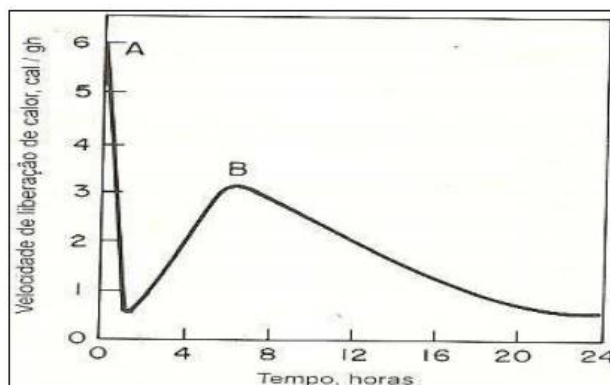
#### 4.1.4. Calor de Hidratação

Devido às reações exotérmicas, a hidratação da composição do cimento libera o calor de hidratação. O calor de hidratação pode gerar problemas de fissuras nocivas a estrutura. (GOMES; PINTO; PINTO, 2013).

Ainda de acordo com os autores acima, essa reação se dá na fase de início, quando o calor gerado é superior a capacidade de dispersão do interior da estrutura, formando assim uma estrutura de uma temperatura maior com desequilíbrio com o meio ambiente.

Na FIG. 3 está representado em horas a velocidade de liberação de calor durante um período inicial de pega e endurecimento, em condições climáticas normais.

Figura 3 – Calor de reação do cimento *Portland* durante a pega e o período inicial de endurecimento.



Fonte: MEHTA (1994, apud MUNIZ, 2008).

Pode-se observar que quando a velocidade das reações diminui, a geração de calor é reduzida e, conseqüentemente, a temperatura da estrutura diminui. (GOMES; PINTO; PINTO, 2013).

Uma observação a ser feita é que com a redução das reações com a água, o cimento se hidrata. Esse processo se inicia na superfície e ao longo do tempo vai para dentro da estrutura. Portanto, quanto maior for a estrutura, maior a extensão para hidratar, e mais tempo será gasto para a realização da hidratação. Ocorrem casos em que partículas de cimento de grandes tamanhos não chegam a hidratar totalmente. (GOMES; PINTO; PINTO, 2013).

#### 4.1.5. Tipos de Cimento *Portland*

De acordo com Neville e Brooks (2010, p. 22) foram desenvolvidos vários tipos de cimento. A TAB. 1 resume os principais tipos, com o propósito de atender várias condições. São esses:

Tabela 1 – Tipos de cimentos *Portland*

CLASSIFICAÇÃO TRADICIONAL		CLASSIFICAÇÃO EUROPÉIA
BRITÂNICA	AMERICANA	BS 8500-1 : 2006
<i>Portland</i> Comum	TIPO I	TIPO (CEM) I - <i>portland</i>
<i>Portland</i> resistente a sulfatos	TIPO III	-
<i>Portland</i> de baixo calor de hidratação	TIPO IV	-
Cimento modificado	TIPO II	TIPO IIB – S – <i>portland</i> com 21 a 35% de eaf
<i>Portland</i> de alta resistência inicial	TIPO V	TIPO IIA – <i>portland</i> com 6 a 20% de cinza volante ou 6 a 10% de sílica ativa
<i>Portland</i> de alto forno	TIPO IS	TIPO IIB-V – <i>portland</i> com 21 a 35% de cinza volante
<i>Portland</i> branco	-	TIPO IIIA – <i>portland</i> com 36 a 65% de eaf
<i>Portland</i> pozolânico	TIPO IP, P e I(PM)	TIPO IIIA + SR – <i>portland</i> com 36 a 65% de eaf com moderada resistência a sulfatos

Fonte: Neville e Brooks (2010)

- Tipo I – Cimento *Portland* Comum: é o mais utilizado para concretos onde não tem incidência de sulfatos. É constituído por 95% de clínquer *Portland* e 5% de constituintes secundários.
- Tipo II – Cimento Modificado: A taxa de liberação de calor é mais rápida e tem ganho de resistência igual comparado ao tipo I. Esse tipo de cimento é utilizado onde pode aceitar um ataque por sulfatos moderado, e onde se deseja obter um calor de hidratação adequado.
- Tipo III – Cimento Resistente aos Sulfatos: Como o próprio nome já diz, esse cimento resiste aos ataques dos sulfatos. Tem como vantagem que o calor gerado pela hidratação do cimento não é alto comparado ao cimento de baixo calor de hidratação.
- Tipo IV – Cimento *Portland* de Baixo Calor de Hidratação: Esse cimento tem o desenvolvimento de resistência mais demorado que o tipo I, entretanto essa propriedade não altera a resistência final da estrutura.
- Tipo V – Cimento *Portland* de Alta Resistência Inicial: Faz-se o uso desse cimento quando se precisam retirar as formas mais rápidas, pois esse cimento tem como propriedade principal adquirir alta resistência muito rápido. Não é recomendado sua utilização em estruturas grandes.
- Cimentos *Portland* de Alta Resistência Inicial Especial: Utiliza-se esse cimento em casos de reparo de estruturas onde exige rapidez na cura. Sua desvantagem é o elevado custo.
- Tipo IS – Cimento *Portland* de Alto Forno: Obtido através da moagem de clínquer *Portland* com escória de alto forno. A escória de alto forno contém o óxido de cálcio, sílica e alumina, porém em proporções menores que a do cimento *Portland*. Utilizadas em obras de água de mar, pois são resistentes aos sulfatos.
- Tipo IP, P e I(PM) – Cimento *Portland* Pozolânico: A pozolana é um material de origem silicosa que ao ser misturado com a água, obtém-se compostos de propriedades cimentícias. Os tipos IP e P são utilizados em estruturas que necessitam de valores de alta resistência nos primeiros dias. A cinza volante silicosa é um tipo de pozolana. Esse cimento é largamente utilizado em concretos compactados com rolo. Suas vantagens é a hidratação lenta que proporciona boa resistência química.

- Cimentos Brancos e Coloridos: Os cimentos brancos estão menos sujeitos a manchas, pois tem baixo teor de álcalis. As cores são conseguidas através de pigmentos adicionados na betoneira.

## **4.2. CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO**

Também chamado de concreto de alta resistência há algum tempo atrás, o Concreto de Alto Desempenho (CAD) apenas tinha como função aumentar a resistência a compressão. Atualmente o CAD coopera com a durabilidade e a porosidade, juntamente com a resistência a compressão. (SILVA, 2010).

A vantagem do CAD está relacionada a uma maior economia às obras e para que um concreto seja considerado de alto desempenho, sua resistência a compressão deve atingir mais de 40 MPA. Isso acontece quando diminui a relação de água e cimento na dosagem. (SILVA, 2010).

### **4.2.1. Características Mecânicas**

Conforme Mehta e Monteiro (1994), as características do CAD são notórias, como por exemplo, a menor utilização de água e cimento, menor quantidade de agregados, permeabilidade baixa e a alta resistência a compressão. Entretanto, só é possível obter essas características empregando aditivos e adições.

De fato, as características estão ligadas a uma série de fatores, que são elas: a redução da seção transversal da estrutura juntamente com o aumento da capacidade de compressão; o alto módulo de elasticidade; e uma menor permeabilidade que implica em uma vida útil maior as estruturas. Em razão da incorporação de aditivos se obtém uma melhor trabalhabilidade se comparado ao concreto convencional. O CAD tem uma resistência à abrasão maior que um concreto convencional, devido a ligação da matriz e o agregado. (CONCRETO..., [200-], p. 22).



Alguns cuidados devem ser tomados, por exemplo, a baixa relação de água e cimento devem ser feitos hidratação frequente, para evitar a retração da peça no decorrer da cura. (CONCRETO..., [200-], p. 22)

#### **4.2.2. Utilização do Concreto de Alto Desempenho**

Visando economizar gastos com manutenção de estruturas já existentes, o CAD deve ser executado em estruturas que necessitam de uma durabilidade maior, como em obras de arte: pontes, pavimentos e viadutos. (CONCRETO..., [200-], p. 22).

Devem ser seguidos uma série de condições para que se possa utilizar o CAD. São essas:

- Arquitetônicas: delimitam as dimensões estruturais;
- Funcionais: parâmetros que tornam compatíveis fatores decisivos no projeto estrutural;
- Estruturais: apropriações das categorias de funcionamento da solução estrutural escolhida;
- Construtivas: apropriação da construção seguindo suas etapas construtivas, conforme a necessidade de projeto;
- Econômica: estabelece uma relação de superioridade do custo e benefício da obra;
- Integração: integra todas as soluções da construção.

#### **4.2.3. Dosagem do CAD**

O primeiro método a ser adotado, conforme Silva, (2010), é a escolha correta dos materiais, levando em consideração que, se acrescentados de forma

errada, pode haver perda da eficiência da metodologia de dosagem. Porém, ressalta-se que não há uma pré-determinação estabelecida para a dosagem do CAD.

Ainda de acordo com o mesmo autor, deve-se ficar atento com outros dois parâmetros de muita importância: o agregado graúdo e a areia. Estes materiais devem ser examinados de acordo com sua granulometria, forma e teor de água. De fato, deve ficar atento também com os outros materiais empregados no concreto, não apenas à qualidade do cimento e à qualidade de aditivos, mas também a qualidade dos demais materiais de origem cimentícia.

Na visão de Mendes (2002) devem ser adotados dois critérios para empregar certos tipos de materiais:

- O CAD necessita-se de uma resistência nos primeiros 28 dias;
- Para que se possa obter um concreto com um módulo de deformação elevado, deve-se levar em consideração a escolha de algum material, no caso o agregado, para conseguir essa característica. Todavia deve-se optar também por um cimento que tenha boa aderência entre as partículas dos agregados graúdos e a matriz.

Como caracteriza Silva, (2010), cada obra exige um traço diferente, levando em consideração seu tipo, e as especificações em projeto. Para se obter um concreto de qualidade deve se adotar um controle rigoroso dos componentes.

É importante focar que o traço necessita de uma baixa relação de água e cimento. Para que isso aconteça, é necessário fazer a dosagem de aditivos e agregados previamente controlados. (BARATA, 1998).

Conforme SILVA, (2010), recomenda-se que, se a central de concretagem estiver longe ou fora do local da peça a ser concretada, deve-se deixar para adicionar o aditivo superplastificante na hora do lançamento do concreto, pois seu efeito é restrito, e se adicionado à mistura muito antes, poderá perder sua eficiência. Por isso deve-se ter atenção redobrada com o tempo de deslocamento desse concreto, levando em consideração o controle dos materiais adicionados a massa.

#### 4.2.4. Aditivos

Muniz, (2008, p. 29), em seu estudo sobre aditivos, afirmaram que estes têm finalidade de aprimorar certas características da mistura, como também retardar o tempo de pega, aumentar a capacidade de durabilidade, reduzir a relação de água e cimento, aumentar a capacidade de impermeabilização do concreto, entre outros.

Os aditivos inseridos na mistura de concreto também tem como finalidade otimizar a plasticidade, diminuir a separação, acelerar ou diminuir o tempo de cura, diminuir a taxa de calor, e aumentar a resistência da peça nas horas iniciais. (CONCRETO..., [200]-, p. 22)

Por outro lado, Neville (1997) argumenta que para alguns casos a utilização de aditivos não é suficiente, pois este não é uma solução para compensar a falta de qualidade dos demais materiais inseridos no concreto.

Conforme Garcez, (2008, p. 27), para que a relação de água e aglomerante tenha seu respectivo desempenho, o uso de aditivos redutores de água é indispensável. Além disso, o uso de aditivos superplastificantes aumenta a fluidez do concreto, deixando-o com as mesmas características quanto a quantidade de água adicionada normalmente, gerando dessa forma, um concreto com maior resistência e durabilidade.

Observa-se pela TAB. 2 a classificação dos aditivos utilizada em concretos de alto desempenho conforme NBR 11768/1992 (ABNT, 1992).

Tabela 2 – Classificação dos aditivos conforme NBR 11768 (EB-1763/1992)

<b>TIPO</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO</b>
P	Plastificante
R	Retardador
PR	Plastificante Retardador
SP	Superplastificante
SPR	Superplastificante Retardador
A	Acelerador
PA	Plastificante Acelerador
IAR	Incorporador de Ar
SPA	Superplastifiante Acelerador

Fonte: NBR 11768 (EB-1763/1992)

#### **4.2.4.1. Aditivos Redutores de Água**

A função desse tipo de aditivo é diminuir a relação entre água e cimento, elevando sua trabalhabilidade. Além disso, por distribuir melhor o concreto no processo de hidratação do cimento, confere maior resistência. (SILVA, 2010).

#### **4.2.4.2. Aditivos Superplastificantes**

Silva, (2010) afirma que os aditivos superplastificantes tem a mesma característica dos aditivos redutores de água, todavia são aditivos mais eficientes, pois reduzem o teor de água de 3 a 4 vezes em um traço de concreto, produzindo um concreto mais fluido, com alta resistência e mais durável.

De fato, ainda de acordo com Silva, (2010), a principal característica do aditivo superplastificante é dar uma distribuição das partículas de cimento de forma a se obter uma melhora na hidratação, que resulta em um concreto com resistência maior.

De acordo com Neville (1997) esses aditivos são polímeros orgânicos hidrossolúveis, que são adquiridos por um processo de polimerização.

Os superplastificantes mais utilizados são os condensados sulfonados de melamina-formaldeído e condensados sulfonados formaldeído-naftaleno. Estes reagem melhor como redutores de água e tem menor chance de ocorrer efeitos secundários. (Garcez, 2008). Do mesmo modo, com o avanço da tecnologia, pode-se encontrar outros dois tipos de superplastificantes, à base de policarboxilatos e éteres que possibilitam evitar métodos antigos de avaliação de trabalhabilidade. (SILVA, R., 2010)

#### 4.2.5. Adições Minerais

Silva, (2003), cita que os aditivos minerais são acrescentados aos concretos com o objetivo de obter certas propriedades especiais. Estes são materiais triturados que são substituídos parcialmente ou misturados aos concretos e argamassas. Pode-se citar como os mais utilizados: a sílica ativa ou então microssílica e a cinza volante. Entretanto podemos encontrar também o filler calcário, escoria de alto forno entre outros.

Os aditivos minerais estão ligados a um aperfeiçoamento na resistência quanto à fissuração térmica em razão ao calor da hidratação. (SILVA, 2010). Além disso, provoca a redução do volume de vazios, amplia a coesão e viscosidade, e coopera no controle de redução de abatimento. (ANDRADE; SILVA; GAYER, 2009, p. 3).

A sílica ativa é o principal material que tem como característica uma grande finura e se comporta como um *microfiller*, fazendo assim o preenchimento dos vazios causados pelos poros. (CONCRETO..., [200-], p. 22). Todavia na visão de Miguel (2003) os aditivos também reagem transformando o hidróxido de cálcio no silicato de cálcio hidratado.

#### 4.3. AGREGADOS

Para Silva, (2010) os agregados são de suma importância na obtenção do concreto de alto desempenho. Além disso, Silva (2010, p. 14) afirma que a seleção dos agregados deve ser a mais minuciosa possível se comparado a um concreto comum.

De fato, Miguel (2003, p. 14) em seu estudo mostra que mesmo se a pasta de cimento e a zona de transição forem resistentes, porém os agregados, mais precisamente os grãos, não forem resistentes, estes podem ser a causa de um possível enfraquecimento do elo da estrutura.

A diferença entre os agregados de um concreto comum e os agregados de um concreto de alto desempenho está na matriz. Os agregados do concreto comum vencem a resistência da matriz. Por outro lado, os agregados do CAD ficam excessivamente mais fortes que a matriz. (CONCRETO..., [200-], p. 31)

Conforme Mendes (2002) apontou em sua pesquisa, a NBR 7211/1983 e a NBR 12654/1992 contém as especificações necessárias para a qualidade de um concreto comum, que deve ser seguido também para o concreto de alto desempenho, já que para este não existe ainda uma norma específica. Além das especificações das normas, devem ser adotados outros requisitos que segue abaixo.

#### **4.3.1. Agregados Miúdos**

Os agregados miúdos têm como principal característica a quantidade de demanda de água que irá absorver, por isso devem ser utilizados agregados de formas mais arredondadas e lisas possível para se obter a aderência necessária no concreto de alto desempenho. (SILVA, p. 16).

Existem duas origens para a mesma: ou se adquire de forma natural como nos rios, que é o mais recomendável, pois está isento de impurezas, argila e silte, e evita também o uso excessivo de água. Ou se adquire por britamento de rochas. (MENDES, 2002).

Segundo Silva, (2010, p. 16) não há necessidade de utilizar areias muito finas, pois as areias mais grossas reduzem a utilização de água, reduzindo a demanda de água na massa, sendo mais rentável tanto para a resistência da estrutura quanto para a economia da obra.

Por outro lado, se deve ter um controle minucioso da qualidade do agregado miúdo. Além de ocasionar alterações no concreto durante seu estado fresco e endurecido, a estocagem desses materiais pode alterar seu valor de acordo com o clima e posicionamento de uma amostra de agregado. (CORDEIRO, 2001; NELIVE, 1997)

A granulometria dos agregados miúdos de acordo com sua utilização, segundo a NBR 7211/2009 (ABNT, 2009) é apresentada na TAB. 3.

Tabela 3 – Limites na distribuição granulométrica do agregado miúdo

PENEIRA COM ABERTURA DE MALHA	PORCENTAGEM EM MASSA, RETIDA ACUMULADA			
	LIMITES INFERIORES		LIMITES SUPERIORES	
	ZONA UTILIZÁVEL	ZONA ÓTIMA	ZONA ÓTIMA	ZONA UTILIZÁVEL
9,5 mm	0	0	0	0
6,30 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Fonte: NBR 7211/2009.

#### 4.3.2. Agregados Graúdos

É importante observar sempre as características dos agregados graúdos, como: a resistência a compressão, a resistência a abrasão, o módulo de elasticidade, a massa específica, a massa unitária, a absorção, a porosidade, sua forma e textura superficial, entre outros. (MEHTA E MONTEIRO, 1994). Por outro lado, Mendes (2002) ressalta outras características que considera de grande importância, que são: a composição da granulometria, a sua mineralogia e também a reatividade química.

Para a obtenção desses agregados requer uma atenção especial, uma vez que as propriedades físicas, químicas e mineralógicas podem afetar diretamente na resistência do concreto. (CORDEIRO, 2001).

No estudo de Cordeiro (2001) o agregado com granulometria distribuída altera consideravelmente a quantidade de água de um concreto. Para Neville (1997) o uso de agregados com formas angulares aumenta a resistência mecânica. Entretanto, o uso incorreto desses materiais pode influenciar na trabalhabilidade e aumentar o fator de quantidade de água.

Os agregados com maiores resistências são os provenientes de basaltos e diabásios, ao contrário dos seixos rolados e pedregulhos, que por terem uma baixa

resistência (até 50 MPa) não proporcionam ao concreto uma opção viável em se tratando de economia. (TÉCHNE, 2002, apud MIGUEL, 2003, p. 15)

A TAB. 4 nos mostra a granulometria dos agregados graúdos, conforme a NBR 7211.

Tabela 4 – Limites na distribuição granulométrica do agregado graúdo

PENEIRA COM ABERTURA DE MALHA (mm)	PORCENTAGEM, EM AMSSA, RETIDA ACUMULADA				
	ZONA GRANULOMÉTRICA				
	4,75 / 12,5	9,5 / 25	19 / 31,5	25 / 50	37,5 / 75
75	-	-	-	-	0 – 5
63	-	-	-	-	5 – 30
50	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25	-	0 – 5	5 – 25	87 – 100	-
19	-	2 – 15	65 – 95	95 – 100	-
12,5	0 – 5	40 – 65	92 – 100	-	-
9,5	2 – 15	80 – 100	95 – 100	-	-
6,3	40 - 65	92 – 100	-	-	-
4,8	80 – 100	95 – 100	-	-	-
2,4	95 – 100	-	-	-	-

Fonte: NBR 7211/2009

#### 4.4. POLÍMEROS

Para Neville e Brooks (2010, p. 395) polímeros são constituídos de várias unidades monoméricas unidos em uma estrutura molecular em forma de cadeia. Esses polímeros são obtidos a partir de uma molécula orgânica que se agrupam com outras moléculas, podendo ser idênticas ou não. Do mesmo modo, Melo (2009, p. 24) em seu estudo afirma que os monômeros são moléculas pequenas que se arranjam para formar moléculas maiores, dando origem à polimerização. Para Lucas, Soares e Monteiro (2001), o grau de polimerização é o número de meros, ou



seja, é a unidade repetitiva na cadeia de polímero. Akcelrud, (2007) alega que estas se repetem ao longo da cadeia, e são quase igual ao monômero inicial.

Conforme Morassi (2013), os polímeros são classificados:



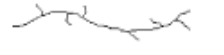
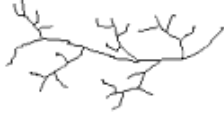

- a) Quanto a sua origem:
  - a1) Naturais – Como próprio nome já diz se deriva da natureza. Exemplo: proteínas, polinucleotídeos, polisacarídeos entre outros.
  - a2) Sintéticos – Adquiridos por reações de moléculas orgânicas.
  
- b) Quanto a sua composição:
  - b1) Homopolímero – Formado por apenas um monômero.
  - b2) Copolímero – Constituído por mais de um monômero.
  
- c) Quanto a seu comportamento térmico:
  - c1) Termoplásticos – Quando podem ser modificados em presença de altas temperaturas.
  - c2) Termofixos – Quando não possui a propriedade de se modificar, pois possuem maior resistência.

No estudo de Lucas, Soares e Monteiro (2001) pode-se encontrar, além dos já citados anteriormente, outros tipos de classificação:

- d) Quanto à forma molecular fixada por ligações químicas:
  - d1) Linear – Ligações com monômeros com comprimento contínuo.
  - d2) Ramificada – Ligações com ramificações ao longo do comprimento.
  - d3) Reticulada – Ligações entre as cadeias que formam uma rede ou retículo.

A seguir, na FIG. 4 pode-se identificar as subdivisões da ligação ramificada e a exemplificação das três formas citadas da classificação.

Figura 4 – Classificação quanto a forma molecular fixada por ligações químicas.

Arquitetura da molécula	Designação do polímero	Definição
	Linear	Formado pelas ligações dos monômeros em um comprimento contínuo.
	Ramificado tipo A	Arquitetura tipo pente, com ramificações longas.
	Ramificado tipo B	Arquitetura tipo pente, com ramificações curtas.
	Ramificado tipo C	Estrutura dendrítica, na qual as ramificações também apresentam ramificações.
	Reticulado	Estruturas nas quais as cadeias poliméricas estão ligadas entre si, formando uma rede ou retículo.

Fonte: Lucas; Soares e Monteiro (2001, p. 19)

e) Quanto à conformação:

e1) Ziguezague – Nos polímeros que apresentam um grau de cristalinidade, em estado sólido. Na forma de extensão, distorção ou em hélice.

e2) Novelo aleatório – Também encontrada no estado sólido e no estado fundido.

f) Quanto ao encadeamento das unidades monoméricas: São três maneiras diferentes de encadeamento. A FIG. 5, mostra que a cabeça é o monômero que comporta o grupo existente e a cauda é o monômero que não comporta o grupo.

Figura 5 – Classificação dos polímeros quanto ao encadeamento das unidades monoméricas.

Tipo de encadeamento	Estrutura
Cabeça-cauda	
Cabeça-cabeça, cauda-cauda	
Misto	

Fonte: Lucas; Soares e Monteiro (2001, p. 19)

- g) Quanto ao arranjo dos átomos: Definidos como isotático, atático e sindotático. Estes só podem ser alterados através da quebra de ligações química na FIG. 6 a exemplificação quanto a essa classificação está representada.

Figura 6 – Classificação dos polímeros quanto ao arranjo dos átomos.

Estrutura	Designação	Definição
	Isotático	Todos os átomos de carbono assimétrico gerados possuem a mesma configuração.
	Sindiotático	A molécula apresenta alternância de configuração dos átomos de carbono assimétricos gerados.
	Atático ou heterotático	Não há ordem na seqüência de configuração dos átomos de carbono assimétricos gerados.

Fonte: Lucas; Soares e Monteiro (2001, p. 20)

h) Quanto ao modo de preparação:

h1) Condensação – Obtidos através dos monômeros polifuncionais originados através de reações química orgânica contendo grupos funcionais. A FIG. 7 exemplifica esse tipo de classificação.

Figura 7 – Classificação quanto ao modo de preparação – Condensação

Tipo de polímero	Ligação característica	Estrutura do polímero resultante
Poliamida	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\   \quad    \\ -\text{N} - \text{C}- \end{array}$	$\text{H}_2\text{N-R-N}_2\text{H} + \text{HO}_2\text{C-R}'\text{-CO}_2\text{H} \rightarrow \text{H}-(\text{NH-R- HCO-R}'\text{-CO-})_n\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{H}_2\text{N-R-N}_2\text{H} + \text{ClOC-R}'\text{-COCl} \rightarrow \text{H}-(\text{NH-R- HCO-R}'\text{-CO-})_n\text{Cl} + \text{HCl}$ $\text{H}_2\text{N-R-CO}_2\text{H} \rightarrow \text{H}-(\text{NH-R-CO-})_n\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$
Proteína, lã, seda	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\   \quad    \\ -\text{N} - \text{C}- \end{array}$	<p>Polímeros de polipeptídeos que ocorrem naturalmente</p> $\text{H}-(\text{NH-R-CONH-R}'\text{-CO-})_n\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{N-R-CO}_2\text{H} + \text{H}_2\text{N-R}'\text{-CO}_2\text{H}$
Poliéster	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{C}-\text{O}- \end{array}$	$\text{HO-R-OH} + \text{HO}_2\text{C-R}'\text{-CO}_2\text{H} \rightarrow \text{H}-(\text{O-R-OCO-R}'\text{-CO-})_n\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{HO-R-OH} + \text{R}''\text{O}_2\text{C-R}'\text{-CO}_2\text{R}'' \rightarrow \text{H}-(\text{O-R-OCO-R}'\text{-CO-})_n\text{Cl} + \text{R}''\text{OH}$ $\text{HO-R-CO}_2\text{H} \rightarrow \text{H}-(\text{O-R-CO-})_n\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$
Celulose	$-\text{O}-\text{C}-$	<p>Ocorre naturalmente</p> $-(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4)_n- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

Fonte: Lucas; Soares e Monteiro (2001, p. 20)

h2) Adição – São polímeros formados com a propriedade de não perder moléculas pequenas e sua unidade de repetição é idêntico ao monômero inicial. Os principais polímeros de adição são provenientes dos monômeros vinílicos.

A classificação quanto a seu comportamento térmico (termoplásticos e termofixos) estão explicados com mais detalhes, como se segue:

#### 4.4.1. Termoplásticos

Para Vieira (2011), os materiais termoplásticos podem ser modificados inúmeras vezes, desde que sejam reaquecidos. De fato, Neville e Brooks ([200-], p. 395) explicam que esses materiais têm cadeias longas, lineares e paralelas tendo

portanto, a propriedade de serem remoldados quando reaquecidos e também resfriados.

Ainda de acordo com Neville e Brooks (2010, p. 395), os termoplásticos podem ser transformados em termofixos, isso se dá devido a agentes que proporcionam o ligamento cruzado.

Segundo Morassi, (2013) podem-se citar alguns exemplos de materiais termoplásticos, tais como:

- Poliéster saturado (PET);
- Policloreto de viníla (PVC);
- Polietileno (PE);
- Polipropileno (PP);
- Acrílico butadieno estireno (ABS);
- Polimetil metacrilato (PMMA);
- Policarbonato (PC);
- Poliamidas (PA);
- Poliacetal (POM);
- Politetraflouretileno (PTFE).

#### **4.4.2. Termofixos**

De acordo com Vieira (2011), os polímeros termofixos são materiais que apresentam apenas uma fase em sua fabricação. Esses não apresentam escoamento quando aumenta a temperatura, pois possuem maior resistência ao calor quando é comparado com os materiais termoplásticos.

Por apresentarem cadeias cruzadas alternadamente, não tem a propriedade de serem remodelados na presença do aumento de temperatura, como os termoplásticos. (NEVILLE; BROOKS, 2010, p. 395). Para Barros (2011), no início da moldagem, as ligações moleculares são formadas entre cadeias, fazendo com que essas cadeias se prendam entre si e que resistam a altas temperaturas.

Também chamado de termorrígidos, Barros (2011) afirma que estes têm melhor estabilidade que os termoplásticos.

Na opinião de Morassi, (2013) pode-se citar como exemplo de materiais termofixos:

- Poliéster insaturado;
- Epóxi;
- Fenólicas;
- Melamínicas;
- Poliuretanos;
- Poli-isocianurato.

Os polímeros associados ao concreto são mais resistentes a tração e a compressão comparada com o concreto comum. Entretanto podem ser corroídos por agentes oxidantes, levando a fissuração da estrutura. Por isso deve ser feita a escolha de um polímero apropriado, a fim de evitar possível degradação. (NEVILLE; BROOKS, 2010, p. 395). Do mesmo modo, Barros (2011) em seu estudo afirma que, os polímeros possuem como características principais: a facilidade de moldagem, a resistência ao desgaste, a ação de agentes nocivos, sua elasticidade, peso mais leve, baixo custo e por serem recicláveis.

#### **4.4.3. Polímeros Mais Usados**

Na visão de Riboli (2012), na construção civil, 5% dos polímeros podem ser utilizados como aglomerantes, substituindo o cimento *Portland*. Os outros 95% podem ser utilizados como uma combinação com o cimento. Pode-se citar como polímeros mais usados na combinação com o cimento *Portland*:

- Acetato de polivinila (PVA) – Polímero sintético com composições variadas. Obtém-se através do acetato de vinila. Mais conhecido como cola branca ou fria.

- Copolímeros acrílicos – Considerados como copolímeros nobres, de boa resistência química, pois neles existem varias ligações de carbono-carbono.
- Copolímeros estireno-acrílico – Pó transparente, não volátil a temperatura ambiente e a pressão atmosférica. É utilizado como um composto de produto toner.
- Copolímeros acetato de vinila-etileno (VAE) – É obtido por ligamento de cadeias de sequência aleatória de polietileno e poli(acetato de vinila).
- Copolímeros cloreto de vinilideno-cloreto de vinila – O saran é um composto do cloreto de vinilideno e do cloreto de vinila. É um polímero que possui resistência a agentes atmosféricos e aos solventes.
- Copolímeros estireno-butadieno (SBR) – Borracha sintética que tem certa resistência química a ácidos orgânicos, exceto os ácidos muito fortes. E resistência a agentes atmosféricos, entretanto não resiste ao calor.
- Látex de resina epóxi – Resistente a abrasão a agentes químicos e a umidade.

#### 4.5. CONCRETO POLIMÉRICO

Com o objetivo de melhorar as características e o desempenho do concreto comum, novas tecnologias são desenvolvidas. Uma delas é o concreto polimérico, que são resinas poliméricas associadas ao concreto comum parcialmente ou são utilizadas como aglomerantes substituindo o cimento *Portland*. (RIBOLI, 2012).

Para Ferreira (2002) o uso de polímeros no concreto é realizado de acordo com sua empregabilidade, os quais podemos citar: Concreto impregnado por polímero (PIC), concreto polímero (CP), concreto modificado por polímero (CMP) e o concreto modificado com látex (CLM). Abaixo explica-se melhor sobre esse assunto, como se segue.

#### 4.5.1. Concreto Impregnado por Polímero (PIC)

De acordo com Mehta e Monteiro ([200-]) o concreto impregnado por polímero é utilizado desde 1970 e vem sendo utilizado até hoje para vedar microporos e poros capilares no concreto, uma vez que esses vazios causam baixa resistência e baixa durabilidade ao concreto comum. O emprego do polímero visa melhorar essa resistência em pré moldados e a durabilidade dos concretos convencionais em ambientes muito agressivos. Neville e Brooks (2010, p. 396) acrescentam também que o concreto impregnado por polímero tem valores mais altos de resistência a compressão, a tração, ao impacto, maior módulo de elasticidade, entre outras propriedades, como podemos observar na TAB. 5

Tabela 5 – Propriedades mecânicas típicas do PIC

MONÔMEROS	CARGA DE POLÍMERO % EM MASSA	RESISTÊNCIA Mpa			
		Compressão	Tração	Flexão	Módulo de Elasticidade
Não impregnado	0	35	2	4	19
MMA	4,6 – 6,7	142	11	18	44
MMA + 10% TMPTMA	5,5 – 7,6	151	11	15	43
Estireno	4,2 – 6,0	99	8	16	44
Acrlonitrila	3,2 – 6,0	99	7	10	41
Cloroestireno	4,9 – 6,9	113	8	17	39
10% poliéster + 90% estireno	6,3 – 7,4	144	11	23	46
Cloreto de vinila	3,0 – 5,0	72	5	-	29
Cloreto de vinilideno	1,5 – 2,8	47	3	-	21
Estireno t-butil	5,3 – 6,0	127	10	-	45
60% estireno + 40% MPTMA	5,9 – 7,3	120	6	-	44

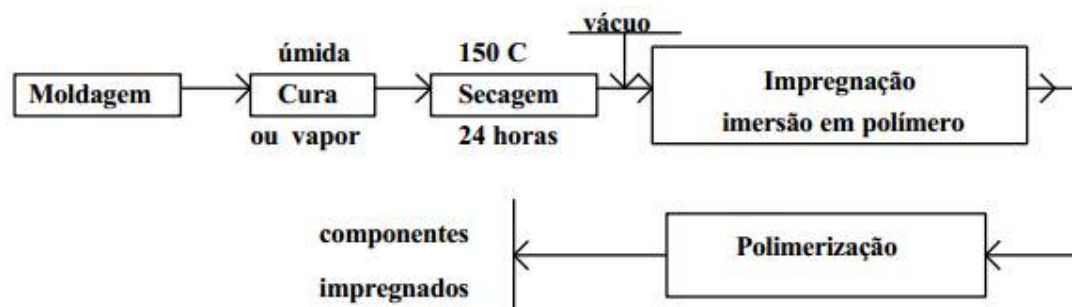
Fonte: Neville e Brooks (2010)

Ainda de acordo com Neville e Brooks (2010, p. 396), é difícil a penetração de um líquido de alta viscosidade no concreto, uma vez que esses espaços não estão totalmente vazios, e sim preenchidos por ar e água. Com efeito, deve-se fazer o uso de monômeros menos viscosos tais como o metil metacrilato (MMA) e o estireno (S).



Para Neville e Brooks (2010, p. 396) antes de começar o processo de impregnação, o concreto de cimento *Portland* tem que ser secado e em seguida deve ser adicionado o monômero. O experimento de Riboli (2012), mostra que, quando o concreto comum recebe o monômero, esse se polimeriza tanto por radiação quanto por catálise térmica. Todavia, Mehta e Monteiro ([200-]) apresentam três métodos para polimerizar o monômero: combinação de química com catalisador que pode ser utilizados em temperaturas ambientes, porém não recomendável, pois o processo de impregnação é muito lento e difícil de ser controlado; radiação gama que causa a polimerização, entretanto pode prejudicar a saúde durante esse processo; uso de uma mistura de monômeros com o catalisador que polimeriza o monômero a 150° C fazendo o uso de aquecedores infravermelhos. Essa é a técnica preferida. A FIG. 9 ilustra esquematicamente o processo de impregnação do polímero.

Figura 8 – Esquema representando o processo geral de produção do PIC



Fonte: Ferreira (2002).

Para Ferreira (2002), o preenchimento total dos vazios é mais complexo. Ele explica que para que esse processo ocorra é necessário um grande consumo de energia para fazer com que o monômero infiltre nos poros. No ponto de vista dele o concreto impregnado parcialmente tem suas vantagens tais como um consumo menor de energia e uma durabilidade e resistência mecânica melhor ao se comparar com um concreto comum e um custo mais baixo comparado ao concreto totalmente impregnado. Todavia um concreto parcialmente impregnado não tem como característica aumentar a resistência mecânica da estrutura, mas pode ser utilizado

como tratamento superficial, tampando os poros abertos na superfície evitando as microfissuras ou defeitos.

Para Tonet (2009), esse tipo de material é aplicado em dormentes para estradas de ferro, pavimentação de pontes e fábricas, tubulações de esgotos, tanques de armazenagem para água do mar, piscinas entre outros.

O PIC é mais caro do que o concreto comum, porém ele aumenta a qualidade do concreto, reduzindo o processo de manutenção e é viabilizado em ambientes deteriorantes. (TONET, 2009)

#### **4.5.2. Concreto Polímero (PC)**

De acordo com Mehta e Monteiro ([200-]) esse tipo de tecnologia vem sendo utilizado desde 1950. Pode oferecer resistência a compressão de até 140 MPa.

Ainda conforme Mehta e Monteiro ([200-]), este tipo de concreto é utilizado em estruturas de túneis, estradas ou em casos que exigem emergência para concretagem, pois chegam a elevada resistência em questão de horas.

Para Tonet (2009) as aplicações para esse concreto são muitas, podendo ser desde a produção de bases para máquinas industriais, devido ao poder de amortecimento de vibração, até aplicações de blocos para pisos, devido a alta resistência ao impacto.

Possui como característica principal a troca do cimento *Portland* como aglomerante por uma resina a base de polímero, podendo fazer-se uso do cimento *Portland* como agregado ou filler. (RIBOLI, 2012, p. 16).

Ferreira (2002) cita como principais propriedades do PC a cura rápida; elevada resistência a tração, compressão e flexão; baixa permeabilidade a água; e tem uma boa resistência química, como pode ser observado na TAB. 6. Vecchio (2011) cita também que esse tipo de concreto é um ótimo isolante acústico e possui alta resistência a corrosão.

Tabela 6 – Propriedades mecânicas típicas do concreto polímero

POLÍMERO MONÔMERO	Relação polímero/ agregado	Massa Específica	RESISTÊNCIA Mpa			Módulo de Elasticidade (Gpa)
		Kg/m <sup>3</sup>	Compressão	Tração	Flexão	
Poliéster	01:10	2400	117	13	37	32
Poliéster	01:09	2330	69	-	27	28
Poliéster + estireno	01:04	-	82	-	-	-
Epóxi + 40% dibutil ftalato	01:01	1650	50	13	-	2
Epóxi + poliaminoamida	01:09	2280	65	-	23	32
Epóxi + poliamida	01:09	2000	95	-	33	-
Epóxi – furano	01:01	1700	65	7	0,1	-
NMA-TMPTMA	01:05	2400	137	10	22	35

Fonte: Neville e Brooks (2010)

Conforme Vecchio (2011), durante a mistura, o aglomerante a base de resina polimérica, entra na estrutura preenchendo os vazios dos agregados enquanto que no concreto convencional (de cimento *Portland*) os vazios são preenchidos com água deixando assim o cimento menos consistente.

Neville e Brooks (2010, p. 396) afirmam que os primeiros concretos produzidos foram a base de resina epóxi e poliéster. Além disso, Mehta e Monteiro ([200-]) afirmam que as resinas epóxi têm um custo mais elevado, porém tem a vantagem de se aderir a superfícies molhadas. A resina mais utilizada hoje é o monômero de estireno com catalizador-promotor.

Ferreira (2002) ressalva que o agregado utilizado neste concreto deve estar seco, isento de umidade, caso contrário irá influenciar na polimerização.

Ainda segundo Ferreira (2002), o PC pode ser produzido de duas maneiras: Uma é adicionando o polímero aos agregados devidamente secos, a outra maneira é colocar em algum molde o polímero e na ordem que se segue, adicionar os agregados (*filler*, areia e agregado graúdo). Após qualquer um desses dois métodos deve ser feito o uso de vibração mecânica para se obter o mínimo de ar na estrutura.

Neville e Brooks (2010, p. 396) apontam que não é necessário fazer o uso de solventes para a limpeza dos moldes, pois os monômeros utilizados nesse processo têm a propriedade de se evaporarem rapidamente.

Um novo estudo na cidade de Cubatão em São Paulo realizado por Tonet (2009) em que as fundações de uma ponte foram revestidas por PC. Pode-se notar que como as peças do concreto convencional ficam submergidas no mar, a estrutura do aço sofre ataques do sal, que se oxida e se expande criando rachaduras no concreto. Com efeito, a água entra na estrutura, danificando-a. O uso do PC evita esse processo. (VECCHIO, 2011, p. 14).

#### **4.5.3. Concreto Modificado por Polímero (CMP)**

Podemos encontrar várias outras classificações para esse tipo de concreto: Neville e Brooks (2010, p. 396) classificam como concreto de cimento *Portland* com polímero. Ballista (2002), Metha e Monteiro ([200-]) utilizam a classificação de concreto modificado com látex (CLM). Onde o látex é um tipo de material polimérico. Qualquer uma dessas classificações é aceita.

Conforme Riboli (2012) esse concreto faz-se a utilização de dois tipos de aglomerantes: o cimento *Portland* e o polímero. O polímero mais utilizado para este caso é o látex, que podem ser misturados na forma de suspensão ou como monômeros que polimerizam. Ballista (2002) menciona que o CMP é uma junção do cimento *Portland*, agregados, água e polímero na hora da mistura.

De acordo com Neville e Brooks (2010, p. 398) o CMP tem maior durabilidade, alta resistência ao gelo – degelo, alta resistência a abrasão e ao impacto. Entretanto tem baixa deformação. Já na visão de Ballista (2002) o CMP não melhora a sua resistência a compressão, somente melhora a resistência a abrasão, flexão e tração. Melhora sua permeabilidade e aderência.

Metha e Monteiro ([200-]) disseram que o látex é uma suspensão coloidal em água. Ainda conforme os autores, antigamente usavam látex a base de acetato de polivinilo ou cloreto de polivinilo. Como pode-se observar na FIG. 10, atualmente podem fazer o uso de vários aglomerantes.

Figura 9 – Principais látex usados com o cimento *Portland* como aglomerantes

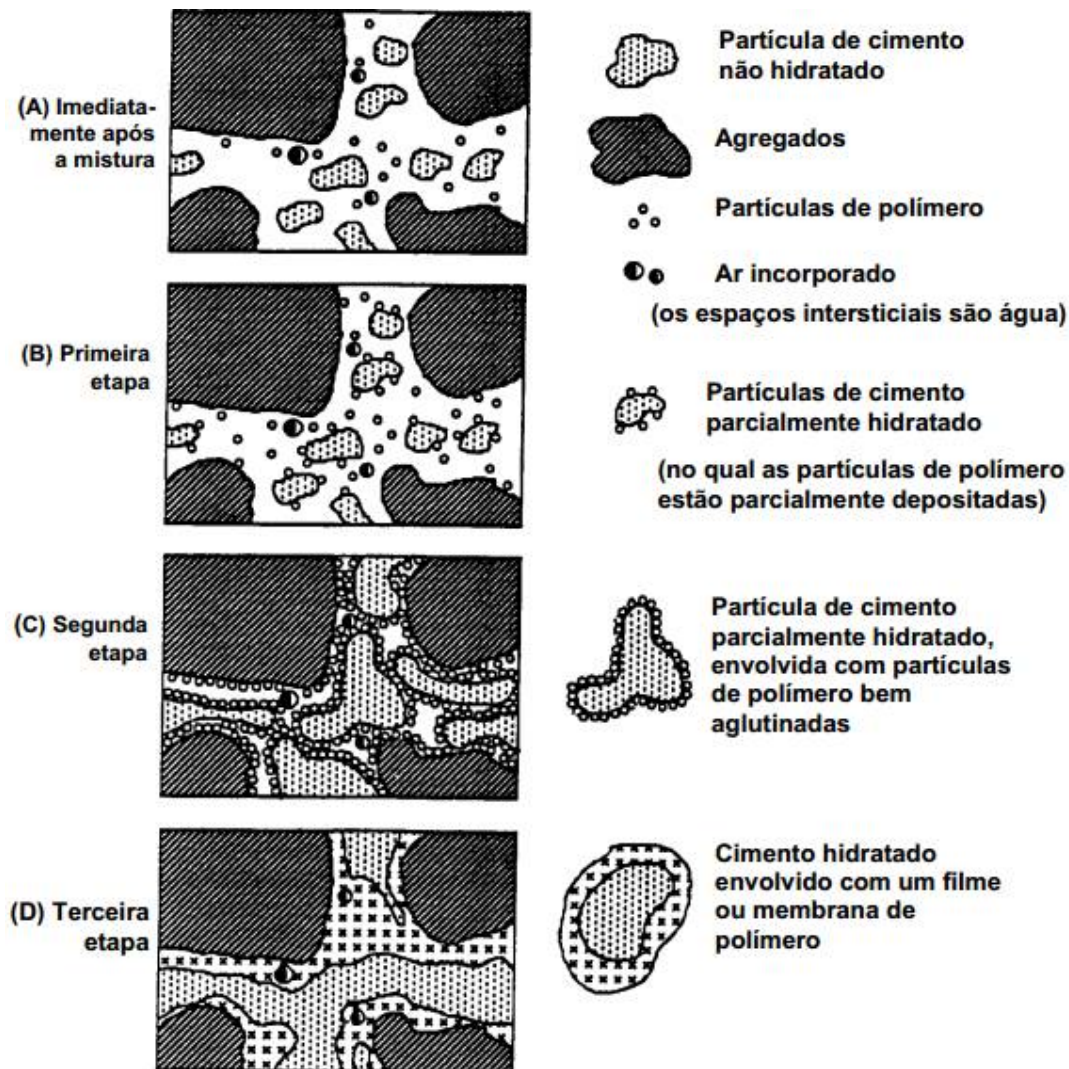


Fonte: Ferreira (2002).

Na visão de Pimentel (2004), existem dois processos proporcionados pelo látex ao concreto. Um, é a hidratação do cimento e a coalescência do látex (polimerização). Após o processo de hidratação do cimento as partículas do látex ocupam os espaços vazios. Com a evaporação, o látex se coalesce formando uma membrana, como está representada, na FIG.11.

Segundo Metha e Monteiro ([200-]) esse tipo de concreto é muito utilizado para sobreposições de pisos industriais e para reparos em tabuleiros de ponte. Entretanto ele ressalva que o uso do CMP é limitado, pois agrava as condições ambientais.

Figura 10 – Processo de modificação de argamassas com látex e a formação do filme de polímero.



Fonte: ACI (1997, apud PIMENTEL, 2004, p. 12)

Segundo Tonet (2009), o concreto modificado com polímero é mais viável tratando-se de economia. Faz-se o uso dos componentes poliméricos em menor quantidade. E em questão de acabamentos e composições arquitetônicas, o poli metil metacrilato permite que o concreto fique colorido, deixando-o mais atrativo

#### 4.5.4. Dosagem dos Concretos Poliméricos

Para a adição de polímero no concreto deve ser levada em consideração a menor quantidade de água utilizada para esse processo. O látex, por exemplo, aumenta a fluidez do concreto e conseqüentemente sua trabalhabilidade. Este deve ser adicionado conforme a relação látex/cimento na faixa de 0,15, conforme especificação do fabricante. O cimento *Portland* utilizado pode ser do tipo I, II ou V. Entretanto o consumo do cimento varia de acordo com sua empregabilidade (BALLISTA, 2002). Todavia para o *American Concrete Institute*, os tipos de cimento utilizados são do tipo I, II e III. Ballista (2002) aponta que o consumo do cimento está na ordem de 390 Kg/m<sup>3</sup>. Já o traço de agregado miúdo/cimento deve ser na faixa de 3:1. A FIG. 12 a seguir, mostra a dosagem para concretos com uso de látex como polímeros.

Figura 11 – Dosagem do concreto polimérico

MATERIAIS	RELAÇÃO (em massa)
Cimento <i>Portland</i>	1.0
Látex (em sólidos)	0.15
Areia	2.0 a 2.7
Agregado graúdo	1.6 a 2.8
Água	0.36 a 0.45

Fonte: Ferreira (2002)

Para Teixeira (2010), o *slump* ideal para esse tipo de concreto seria de 7 cm variando para mais ou menos 2 cm. Isso se dá devido a alta trabalhabilidade do concreto após a adição de polímeros.

#### 4.5.5. Processo Produtivo

Segue a mesma ordem do processo produtivo de um concreto comum, porém esse tem a adição de um polímero. (BALLISTA, 2002)

Vale ressaltar que alguns autores indicam que a ordem de colocação os constituintes na betoneira é de grande importância, pois para eles os benefícios causados pela adição são maiores. Para um concreto polimérico, por exemplo, onde se mistura o polímero junto a argamassa, pode seguir a seguinte ordem, conforme Ballista, (2002).

- Primeiro coloca-se na betoneira o agregado graúdo;
- Parte da água utilizada no processo;
- Cimento;
- Agregado miúdo;
- E, por fim, o polímero.

A explicação para que o polímero seja o último a ser adicionado a mistura, de acordo com Ballista (2002), é que ele não deve ser absorvido pelos agregados, mas deve-se unir à matriz do cimento, envolvendo os poros e os agregados. A mistura deve ocorrer em torno de cinco minutos, para que se possa evitar a entrada de ar no concreto.

#### **4.5.6. Mistura e Adensamento**

O concreto polimérico deve ser aplicado do mesmo modo do concreto convencional. O lançamento deve ser feito de 15 a 30 minutos após a preparação, com o intuito de evitar as fissuras. Passado esse tempo, deve ser feito o uso de aditivos retardadores de pega, como exemplo o dietileno glicol. (FERREIRA, 2002)

#### **4.5.7. Cura do Concreto**

Segundo Ferreira (2002), a cura desse concreto deve ser diferente por causa da adição do polímero. O autor explica que devido a formação de filme na



superfície da estrutura, é necessário fazer uma cura úmida de 24 horas e logo após a cura seca em temperatura ambiente de 15°C até 27°C.

#### **4.5.8. Limpeza e Segurança**

Riboli (2012) nos mostra em sua pesquisa que deve ser feito uma limpeza dos equipamentos logo após o uso, uma vez que a secagem do látex acontece de forma rápida. Ferreira (2002) aponta que a secagem começa após 15 minutos em contato com o ar.

O látex não é um material tóxico, porém pode causar irritação na pele e nos olhos quando em contato por muito tempo com esse produto. (FERREIRA, 2002).

#### **4.5.9. Propriedades dos Concretos Poliméricos**

É de grande importância conhecer as propriedades dos concretos poliméricos. Deve ser realizada uma boa escolha de material polimérico para obter o resultado desejado. São relacionadas a seguir, algumas propriedades e na FIG. 13 são apresentadas algumas propriedades de vários tipos de polímeros e do concreto comum para efeito de comparação.

Figura 12 – Algumas propriedades do concreto polimérico

	Polimetil Metacrilato	Poliéster	Epóxi	Polímero Furânico	Concreto**
Densidade (Ton/m <sup>3</sup> )	2,0-2,4	2,0-2,4	2,0-2,4	1,6-1,7	1,9-2,5
Absorção de Água (%)	0,05-0,60	0,30-1,0	0,02-1,0	0,20	5-8
Resistência à Compressão (MPa)	70-210	50-150	50-150	48-64	13-35
Resistência à Tração (MPa)	9-11	8-25	8-25	7-8	1,5-3,5
Resistência à Flexão (MPa)	30-35	15-45	15-50	-	2-8
Módulo de Elasticidade (GPa)	35-40	20-40	20-40	-	20-30
Coef. de Poisson	0,22-0,33	0,16-0,30	0,30	-	0,15-0,20
Coef. de Expansão Térmica (10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> )	10-19	10-30	10-35	38*, 61*	10-12

\*\* Concreto de cimento Portland  
Fonte: Vecchio (2011)

#### 4.5.9.1. Resistência a Tração e a Flexão

No concreto polímero a resistência a tração e a flexão são maiores que nos concretos convencionais. Podem chegar a valores de três a quatro vezes maiores. (NACIMENTO, [200-]).

O mesmo autor cita que isso também acontece com o concreto modificado com polímero. A resistência atinge valores de até quatro vezes a mais comparada com o concreto comum. Entretanto, Ferreira (2002) aponta em seu estudo que a resistência a tração e a flexão serão sempre maiores que de um concreto comum.

Ballista (2002) explica que isso ocorre devido a baixa relação de água/cimento juntamente com a alta aderência da matriz do polímero com agregado.

#### **4.5.9.2. Resistência a Compressão**

Riboli (2012) afirma que para a obtenção de uma boa resistência a compressão, deve se levar em consideração o traço utilizado no concreto. Já Ferreira (2002) nos mostra que o tipo de polímero também influencia. Por exemplo, o uso de PVA não produz resultados satisfatórios.

Segundo Nascimento ([200-]) a compressão no CMP tem valores altos, pois reduzem a demanda da água de amassamento, principalmente por consequência do polímero.

Melo (2009) explica que a qualidade do material está associada a esses valores, pois está diretamente relacionada com a estrutura interna dos materiais.

#### **4.5.9.3. Módulo de Elasticidade**

De acordo com os autores Ferreira (2002) e Riboli (2012), o módulo de elasticidade é 80% maior a de um concreto comum. Para Nascimento ([200-]), o módulo de elasticidade possui valor igual ao de um concreto convencional.

#### **4.5.9.4. Fluência**

Ferreira (2002) cita que os valores de fluência variam de acordo com a natureza do polímero. Tais valores tanto podem ser maiores como menores que de um concreto comum.

#### **4.5.9.5. Retração**

Para Riboli (2012) os concretos modificados com polímero devem receber tratamento de cura eficiente, caso isso não ocorra, esses concretos ficam submetidos a retração inicial. Para Ferreira (2002) o tipo de polímero altera essa propriedade. Ele cita como exemplo os latexes acrílicos que tem baixa retração, e o látex de cloreto de vinila-vinilideno, que possui maior retração. Quando comparados ao concreto comum.

#### **4.5.9.6. Aderência**

Riboli (2012) cita como aderência levando em consideração a aderência relativo a armadura. Essa pode chegar a 154% da tensão de aderência maior que nos concretos convencionais. Ferreira (2002) mostra que em valores pode chegar a ser duas vezes maior que no concreto comum.

#### **4.5.9.7. Resistência Química**

De acordo com Ferreira (2002) a resistência química está diretamente ligada ao tipo e teor de látex. Ele cita como exemplo o PVA que não tem como propriedade resistir a ação de ácidos e álcalis. Ao contrario, o SBR resiste a ação de ácidos e de álcalis, mas não possui a propriedade de resistir aos ataques de solventes.

#### **4.5.9.8. Abrasão**

O *CP* possui ótima resistência a abrasão, aos ácidos, álcalis e solventes, salvo os oxidantes fortes, uma vez que este é impermeável aos líquidos e gases.

Para o CMP a resistência a abrasão chega a 70%, uma vez que sua permeabilidade é reduzida para 90%. O CMP resiste aos ataques de ácidos, álcalis e sais. (NACIMENTO, [200-]). Para Ferreira (2002) em geral, os concretos poliméricos tem uma excelente resistência a abrasão.

#### **4.5.9.9. Trabalhabilidade**

A trabalhabilidade no concreto polimérico é alta podendo incorporar ar, exceto se utilizar antiespumantes. Existem também alguns tipos de polímeros que tem propriedade de retardar a pega. (FERREIRA, 2002).

Riboli (2012) explica que os polímeros possuem partículas com ação de plastificante, fazendo com que a trabalhabilidade aumente.

#### **4.5.9.10. Tempo de Pega**

Diferentemente do tempo de trabalhabilidade que é o tempo que o látex começa a coalescer, o tempo de pega é a função da hidratação no cimento. Quando a estrutura encontra-se muito seca a trabalhabilidade pode ser afetada. (RIBOLI, 2012). Para Nascimento ([200-]) o tempo de pega é o mesmo para o concreto convencional.

Na TAB. 7 observa-se as propriedades dos concretos comparados entre si. O comportamento mecânico dos polímeros são elevados, principalmente tratando-se de resistência a tração e flexão, que não é uma propriedade do concreto comum.

Tabela 7 – Propriedades típicas do PIC, PMC E PC

PROPRIEDADES TÍPICAS DO PIC, PMC E PC				
COMPÓSITO	Resistência a tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência a compressão (MPa)	Absorção de água (%)
PIC	10,5	42	140	0,6
PMC	5,6	14	38	-
PC	22	28	120	-

Fonte: Tonet (2009)

#### 4.5.10. Fatores que Afetam as Propriedades dos Polímeros

Dentre os fatores, Ballista (2002) destacou três:

- A forma química do monômero, a massa molar e a estrutura da molécula;
- O processo de preparação do polímero. Como já foi explicado anteriormente que são classificados como adição e condensação;
- E as formas de polimerização empregadas.

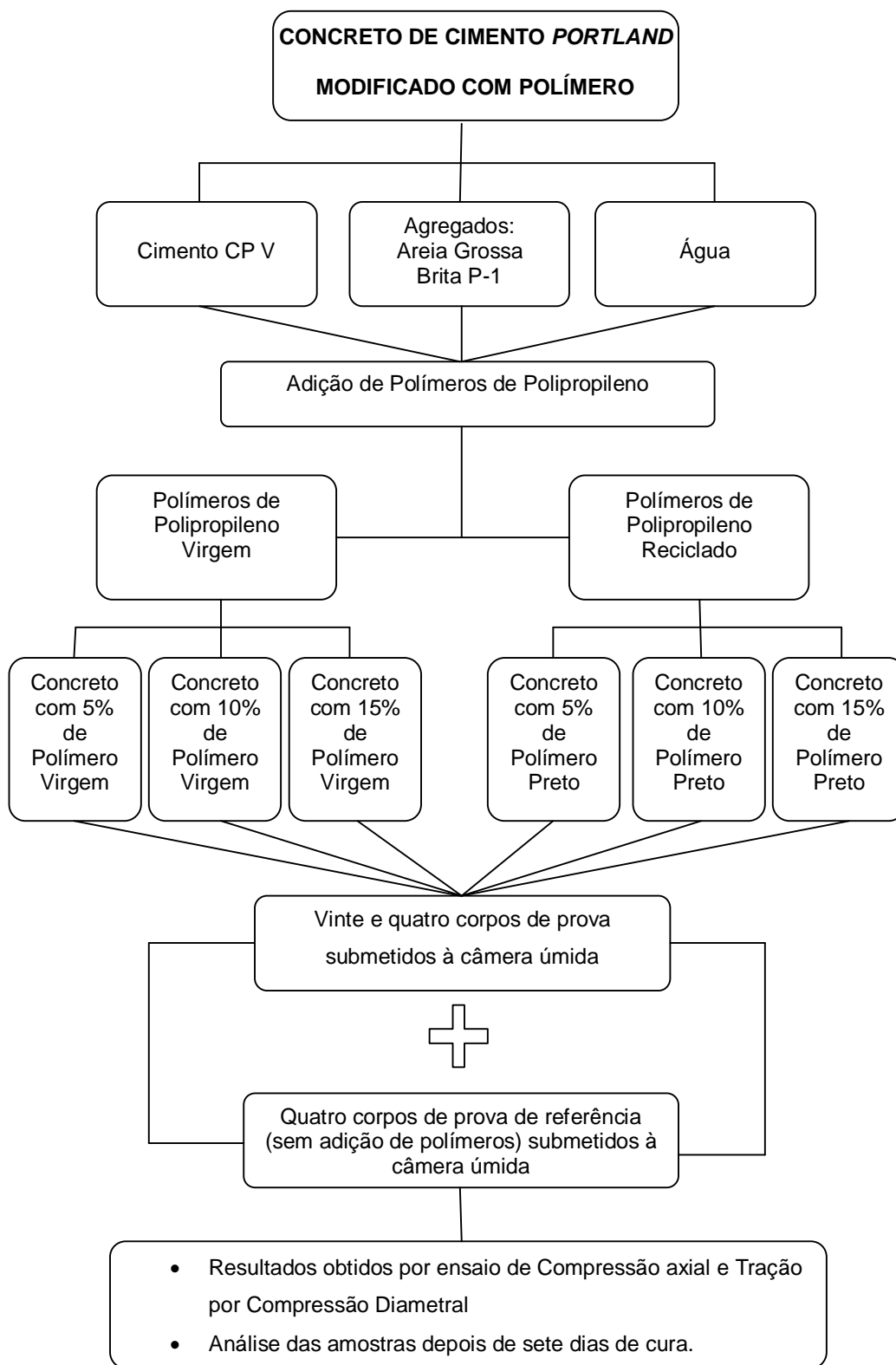
## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho baseou-se no referencial teórico sobre o concreto de cimento *Portland* modificado com polímeros para análise da viabilidade da utilização dos polímeros. Realizou-se um experimento no laboratório da Pavidez e Britamil localizado na cidade de Arcos - MG. Para isso, primeiro calculou-se o traço, de acordo com a Associação Brasileira de Cimento *Portland* (ABCP), adotando como resistência mínima de 35 MPa e cura de sete dias.

Por fim, foram feitos quatro dosagens de concreto, sendo três dosagens com diferentes quantidades de duas resinas poliméricas, fazendo substituição de parte da água de amassamento em relação ao cimento e uma dosagem para concreto de referência, ou seja, concreto sem adição de polímeros. Essas três dosagens foram divididas em lotes, que estão explicadas mais adiante no presente trabalho.

A FIG. 14 apresenta um fluxograma descrevendo os procedimentos do ensaio realizado.

Figura 13 – Fluxograma do procedimento adotado no ensaio



Fonte: O autor (2014).



## 5.1. MATERIAIS

Para o estudo do concreto de cimento *Portland* modificado com polímero foi necessária a utilização dos seguintes materiais para a realização dos corpos de prova e dos ensaios:

- Cimento *Portland* Tipo CP V – ARI marca Nacional: Como havia necessidade de rompimento com sete dias de cura, optou-se pelo uso do cimento *Portland* CP V ARI. Podendo chegar a até 51 MPa com 28 dias de cura. (FIG. 15A)
- Agregado miúdo: Areia grossa quartzosa de rio, apresentada na FIG. 15B. Oriunda do Rio Santana, localizado no município de Japaraíba – MG, com granulometria conforme TAB. 8

Tabela 8 – Análise granulométrica da areia por peneiramento

Peneiras			Retido	% Retida	Porcentagem Passada
Patrimônio	mm	Polegadas			
Japaraíba/MG	101,60	4	-	-	-
Japaraíba/MG	88,90	3 ½	-	-	-
Japaraíba/MG	76,20	3	-	-	-
Japaraíba/MG	63,50	2 ½	-	-	-
Japaraíba/MG	50,80	2	-	-	-
Japaraíba/MG	38,10	1 ½	-	-	-
Japaraíba/MG	25,40	1	-	-	-
Japaraíba/MG	19,10	¾	-	-	-
Japaraíba/MG	12,70	1/2	7,37	1,05	98,95
Japaraíba/MG	9,52	3/8	18,57	2,63	97,37
Japaraíba/MG	6,35	1/4	-	-	-
Japaraíba/MG	4,76	nº. 4	30,77	4,36	95,64
Japaraíba/MG	2,83	nº. 7	-	-	-
Japaraíba/MG	2,38	nº. 8	-	-	-
Japaraíba/MG	2,00	nº. 10	61,75	8,75	91,25
Japaraíba/MG	1,19	nº. 16	-	-	-
Japaraíba/MG	0,71	nº. 25	-	-	-
Japaraíba/MG	0,59	nº. 28	-	-	-

Japaraíba/MG	0,42	nº. 40	461,18	65,37	34,63
Japaraíba/MG	0,30	nº. 50	-	-	-
Japaraíba/MG	0,18	nº. 80	671,36	95,17	4,83
Japaraíba/MG	0,15	nº. 100	-	-	-
Japaraíba/MG	0,07	nº. 200	691,32	98,00	2,00
<b>FUNDO</b>			<b>705,44</b>		

Fonte: Pavidez Engenharia Ltda

- Agregado graúdo: Brita calcária número 1, lavada para retirada de pó, apresentado na FIG. 15C. Retirado no estoque da Britamil, com granulometria de acordo com a TAB. 9

Tabela 9 – Análise granulométrica da brita 1 por peneiramento

Peneiras			Retido	% Retida	Porcentagem Passada
Patrimônio	mm	Polegadas			
Britamil	101,60	4	-	-	-
Britamil	88,90	3 ½	-	-	-
Britamil	76,20	3	-	-	-
Britamil	63,50	2 ½	-	-	-
Britamil	50,80	2	-	-	-
Britamil	38,10	1 ½	-	-	-
Britamil	25,40	1	-	-	-
Britamil	19,10	¾	-	-	-
Britamil	12,70	½	222,52	30,47	69,53
Britamil	9,52	3/8	548,34	75,09	24,91
Britamil	6,35	¼	-	-	-
Britamil	4,76	nº. 4	721,21	98,77	1,23
Britamil	2,83	nº. 7	-	-	-
Britamil	2,38	nº. 8	-	-	-
Britamil	2,00	nº. 10	722,85	98,99	1,01
Britamil	1,19	nº. 16	-	-	-
Britamil	0,71	nº. 25	-	-	-
Britamil	0,59	nº. 28	-	-	-
Britamil	0,42	nº. 40	724,70	99,25	0,75
Britamil	0,30	nº. 50	-	-	-

Britamil	0,18	nº. 80	723,23	99,04	0,96
Britamil	0,15	nº. 100	-	-	-
Britamil	0,07	nº. 200	724,09	99,16	0,84
<b>FUNDO</b>			<b>730,21</b>		

Fonte: Pavidez Engenharia Ltda

Figura 14 – Materiais utilizados para confecção dos corpos de prova



Fonte: O autor (2014)

- Polímeros: Polímeros de polipropileno virgem (Branco) e Reciclado (Preto) concedido pela empresa Coplast localizada na cidade de Belo Horizonte – MG. (FIG. 16)

Figura 15 – Polímeros de polipropileno virgem e reciclado



Fonte: O autor (2014)

- Água: Proveniente da rede pública, sendo atendidas todas as exigências da NBR 6118/2010.
- Betoneira convencional de 120 litros

- Materiais para realização do *Slump test* cedidos pelo laboratório da Pavidez
- Balança de precisão em gramas da marca Marte (AD 3300)
- Balança de precisão em quilogramas da marca Urano (US 15/5)
- Prensa manual de ensaios mecânicos da marca Contenco (Pavitest)
- 28 Moldes de copo de prova, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, cedidos pelo laboratório da Pavidez.
- Uma trena de 3 metros.

## 5.2. MÉTODOS

Os métodos utilizados foram separados em cálculos, dosagem, preparo da argamassa, moldagem, cura e rompimento.

- Cálculos: Fez-se os cálculos para obtenção do traço, conforme determina a norma da ABCP, apresentado no apêndice A do presente trabalho;
- Dosagem: Para a obtenção da dosagem foi utilizado o traço calculado anteriormente. Executou-se 4 corpos de prova para o traço do concreto de referência, 4 corpos de prova para o traço com adição de 5% de polímero de polipropileno virgem, 4 corpos de prova para o traço com adição de 10% de polímero de polipropileno virgem, 4 corpos de prova para o traço com adição de 15% de polímero de polipropileno virgem, 4 corpos de prova para o traço com adição de 5% de polímero de polipropileno reciclado, 4 corpos de prova para o traço com adição de 10% de polímero de polipropileno reciclado e por fim 4 corpos de prova para o traço com adição de 15% de polímero de polipropileno reciclado.
- Preparo da argamassa: Foi realizado no laboratório da Pavidez e Britamil. Utilizou-se uma betoneira convencional de 120 litros para a mistura dos materiais na seguinte ordem: Primeiro adicionou-se os agregados graúdos, 60% da água, o cimento e o agregado miúdo. O polímero de polipropileno foi misturado junto com o restante da água para se obter um melhor

aproveitamento do material, e adicionado à betoneira, funcionando durante mais cinco minutos até formar uma pasta homogênea e com trabalhabilidade definida pelo ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*). (FIG. 17).

Figura 16 – Ensaio de abatimento do tronco de cone – *Slump Test*



Fonte: O autor (2014)

- **Moldagem:** Depois de verificar o abatimento, pegou os moldes cilíndricos, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, e untou-os com óleo diesel. A massa de concreto foi despejada nos moldes em duas partes. Para cada parte foram realizados 12 golpes e em seguida adensados. Esperou um dia de cura necessário para a realização da desmoldagem.
- **Cura:** Feito a desmoldagem, os corpos de provas foram submetidos a uma câmara úmida. O tempo de cura na câmara úmida do concreto modificado com polímero foi menor ao se comparado do concreto de referência, 24 horas apenas. A explicação para isso é que o concreto modificado com polímero não pode ficar muito tempo na câmara úmida, para não alterar suas propriedades mecânicas. Retirados da câmara úmida os corpos de prova tiveram uma cura de quatro dias a temperatura ambiente. Não se deve realizar os testes com os corpos de provas se úmidos, pois isso afeta resultados finais. Os corpos de prova foram divididos em 3 lotes. O primeiro lote foi representado pelo concreto de referência, contendo 4 corpos de prova. O segundo lote, representado pelo concreto modificado com polímero virgem. Continha 12 corpos de provas sendo 4 para cada porcentagem (5%, 10% e

15%) de polímero. O terceiro e último lote, representado pelo concreto modificado com polímero reciclado. Continha 12 corpos de prova sendo, este lote também, com 4 corpos de prova para cada porcentagem (5%, 10% e 15%) de polímero. (FIG. 18)

Figura 17 – Moldes representando os lotes



Fonte: O autor (2014)

- Rompimento: Após o tempo de cura, foram realizados dois ensaios mecânicos para obtenção dos resultados: Um ensaio de compressão axial seguindo a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 5739 e um ensaio de tração por compressão diametral, FIG. 19. Esse ensaio pode ser classificado também como ensaio de resistência a tração indireta, seguindo as exigências da NBR 7222/2011. Sendo disponibilizados dois corpos de prova de ensaios de cada tratamento, utilizados no ensaio de compressão axial simples e outros dois no ensaio de tração por compressão diametral

Figura 18 – Ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: O autor (2014)

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

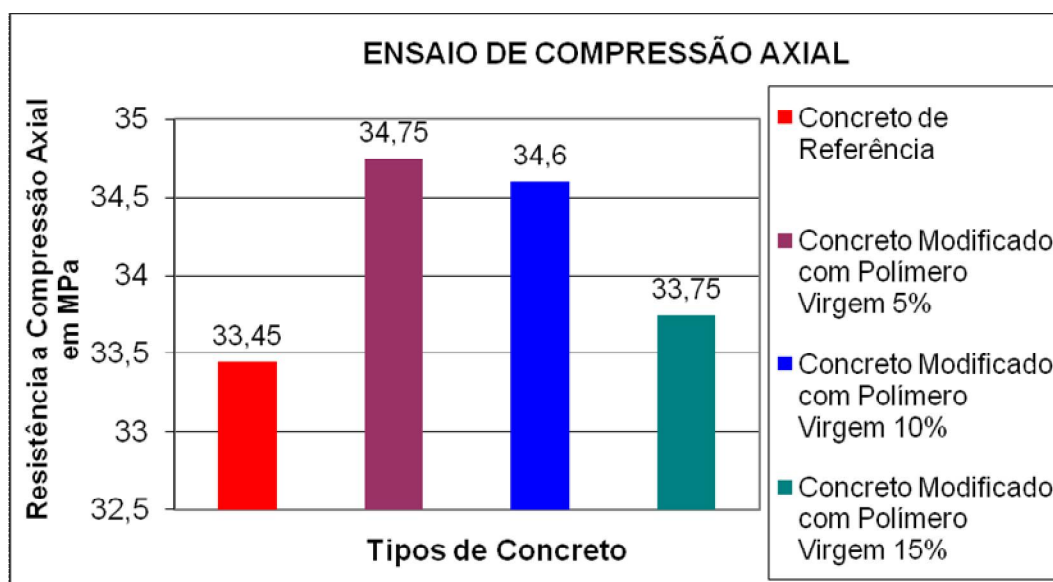
Depois de realizado os ensaios, foi feito uma análise a partir dos resultados parciais obtidos para se chegar aos resultados finais.

Como os ensaios mecânicos foram executados em grande quantidade de corpos de prova, adotou-se o critério de média aritmética simples para análise dos gráficos. As tabelas dos gráficos estão localizadas no apêndice B do presente trabalho.

### 6.1. ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

A média dos resultados dos ensaios de compressão axial com polímero de polipropileno virgem são apresentados no GRAF. 1

Gráfico 1 - Média dos resultados dos ensaios de compressão axial com polímeros de polipropileno virgem



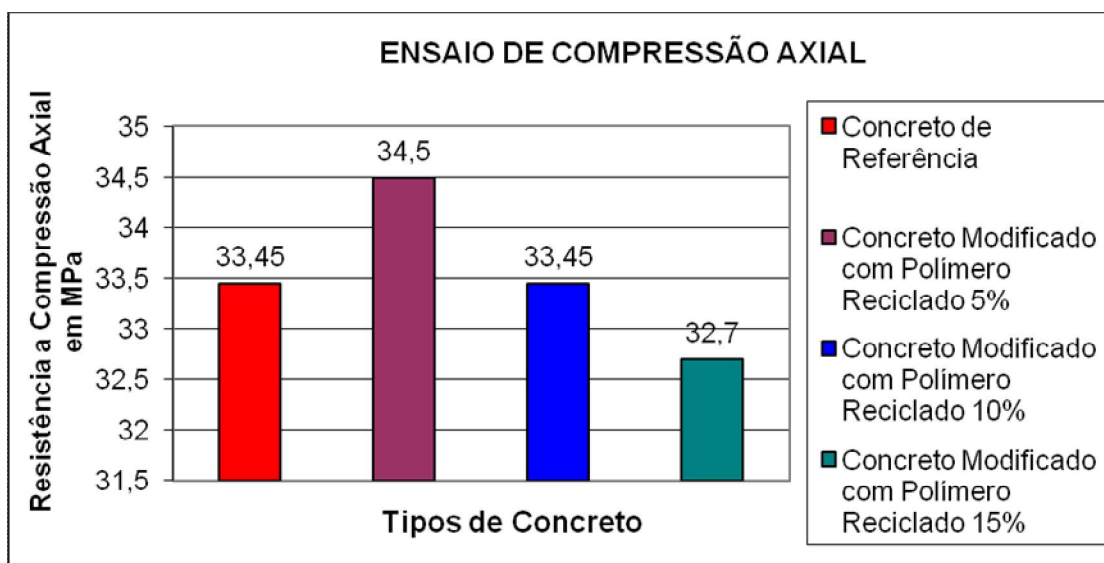
Fonte: O autor (2014)



Analisando o GRAF. 1, pode-se notar que a média dos valores de resistência a compressão axial, aumentou em relação ao concreto de referência. Entretanto o resultado que obteve melhor desempenho foi o concreto que adicionou-se menor quantidade de polímero de polipropileno.

Para os resultados do concreto modificado com polímero reciclado observa-se o GRAF. 2.

Gráfico 2 - Média dos resultados dos ensaios de compressão axial com polímeros de polipropileno reciclado

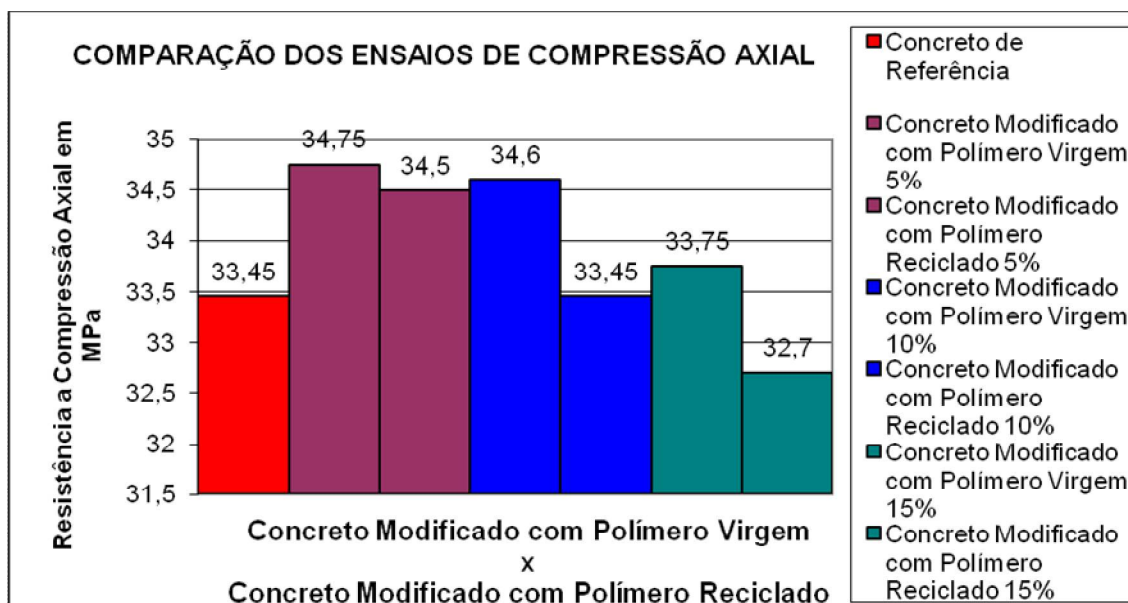


Fonte: O autor (2014)

A média dos valores do concreto modificado com polímero reciclado foi maior que a média do concreto de referência apenas na dosagem de 5% de polímero. Na dosagem de 10% os resultados foram iguais e na dosagem de 15% a resistência a compressão axial decresceu. Portanto, o concreto que obteve melhor desempenho foi o que se adicionou menor quantidade de polímero reciclado.

Fazendo-se uma breve comparação, entre os dois tipos de concretos modificados com polímeros, pode notar que o polímero virgem obtém melhor resultado comparado ao polímero reciclado. (GRAF. 3)

Gráfico 3 - Média dos resultados dos ensaios de compressão axial com polímeros de polipropileno virgem e reciclado



Esta explicação pode ser bem simples: devido ao polímero reciclado ter passado por vários tipos de reciclagem, este pode ter perdido ou alterado alguma ligação química em sua cadeia, alterando assim o resultado final do experimento. Pode-se perceber a nítida diferença entre as dosagens de 10% e 15% de polímero.

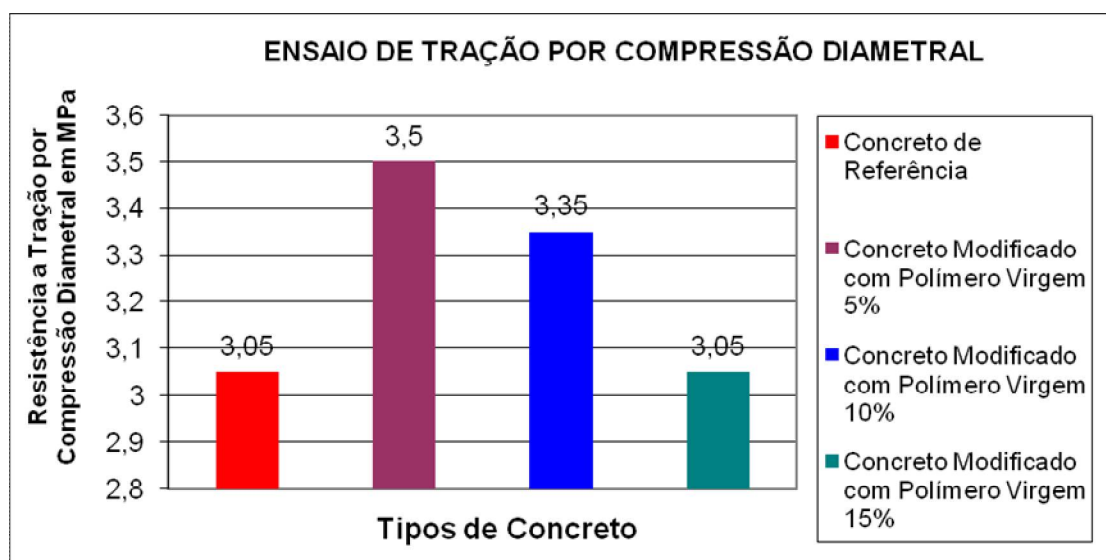
Conclui-se que, a utilização do polímero de polipropileno virgem (Branco) tem mais eficiência quando se trata de resistência a compressão do que o polímero de polipropileno reciclado (Preto), uma vez que ela supera todos os valores do concreto de referência. Porém, na questão econômica, o polímero de polipropileno reciclado pode ser uma boa alternativa, quando precisa-se de uma peça menos onerosa. Observa-se também que qualquer um dos dois polímeros de polipropileno utilizando adição de 5% no experimento supera a resistência a compressão axial do concreto de referência.

## 6.2. ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Através dos gráficos 4, 5 e 6, analisou-se os resultados obtidos nos ensaios de resistência a tração por compressão diametral. No referencial teórico pode-se notar que a resistência a tração tem valores mais altos comparando aos concretos convencionais. Valores estes podem chegar próximos a 10% dos resultados de ensaios de compressão axial para concretos convencionais. Porém, para os concretos modificados com polímeros esses valores ultrapassam o limite de 10%. No presente trabalho, não foi superado esses valores devido ao tempo de cura, que foi com apenas sete dias. Para chegar ao valor real deveria ter realizado ensaios com 28 dias de cura.

Fazendo-se uma análise do GRAF. 4, nota-se que o concreto de referência deu o mesmo resultado comparando com o concreto modificado com 15% de polímero virgem. E dentre os três concretos modificados, o que apresentou melhor desempenho foi o que se adicionou menor quantidade de polímero. No caso, 5%.

Gráfico 4 - Média dos resultados do ensaio de tração por compressão diametral com polímeros de polipropileno virgem



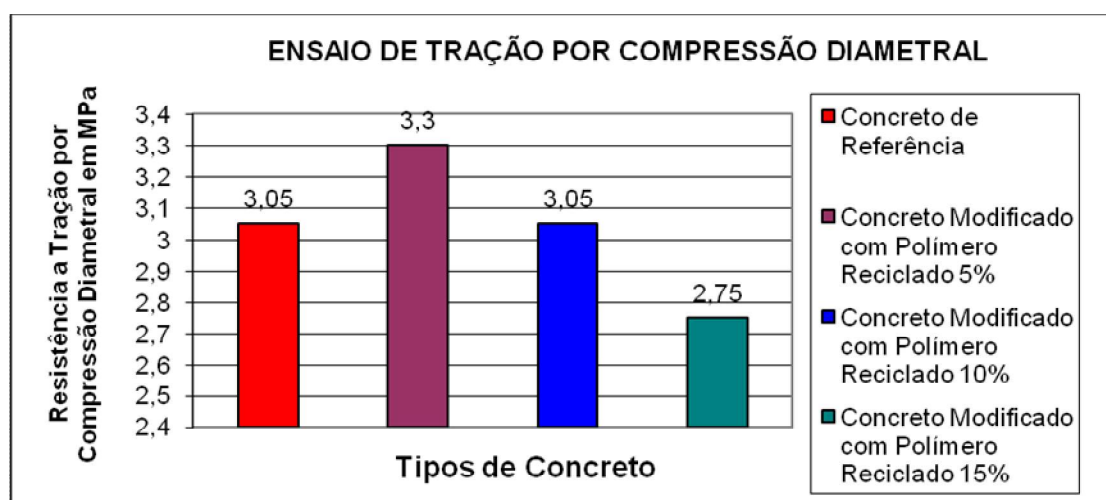
Fonte: o autor (2014)

Conclui-se que, a partir de 15% de adição de polímero de polipropileno virgem no concreto não altera o resultado, fazendo uma comparação ao concreto de

referência. E quanto menos polímero virgem for adicionado à mistura de argamassa maior será o valor de tração a compressão diametral.

Nos ensaios de tração por compressão diametral utilizando polímeros de polipropileno reciclado, pode-se analisar, conforme apresenta o GRAF. 5, que a partir da adição de 10% de polímero reciclado não se obtém resultados significativos, porque eles decrescem à medida que for aumentando o valor de polímero, sempre comparando com o concreto de referência. Fazendo-se assim a opção de adição de 5% de polímero reciclado na argamassa.

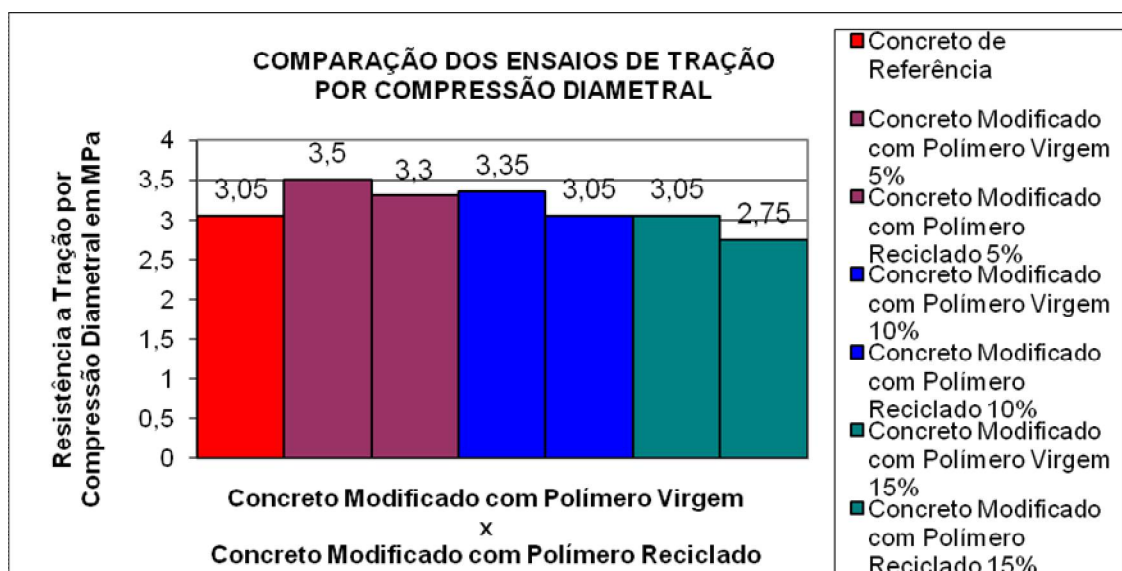
Gráfico 5 - Média dos resultados do ensaio de tração por compressão diametral com polímeros de polipropileno reciclado



Fonte: O autor (2014)

Comparando a eficiência dos polímeros, o GRAF. 6 apresenta que, a partir da adição de 10% de polímero reciclado, a um decréscimo nos resultados, tornando-os insatisfatórios. Entretanto, levando em consideração a utilização por questão econômica o polímero de polipropileno reciclado é uma boa opção para concretos convencionais, uma vez que as resinas poliméricas sejam para descarte.

Gráfico 6 - Média dos resultados dos ensaios de tração por compressão diametral com polímeros de polipropileno virgem e reciclado



### 6.3. EFICIÊNCIA DOS POLÍMEROS

Após analisar os gráficos, pode-se observar a eficiência dos polímeros de polipropileno no concreto. Os concretos que obtiveram resultados consideráveis foram os que se fizeram menor adição de polímero a mistura de argamassa. Então pode concluir que, quanto menor a adição de polímero, maior vai ser a resistência mecânica da peça de concreto.

### 6.4. COMPARAÇÃO ENTRE CONCRETO MODIFICADO COM POLÍMEROS DE POLIPROPILENO VIRGEM E RECILCADO E CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO EM RELAÇÃO AO CONCRETO COMUM

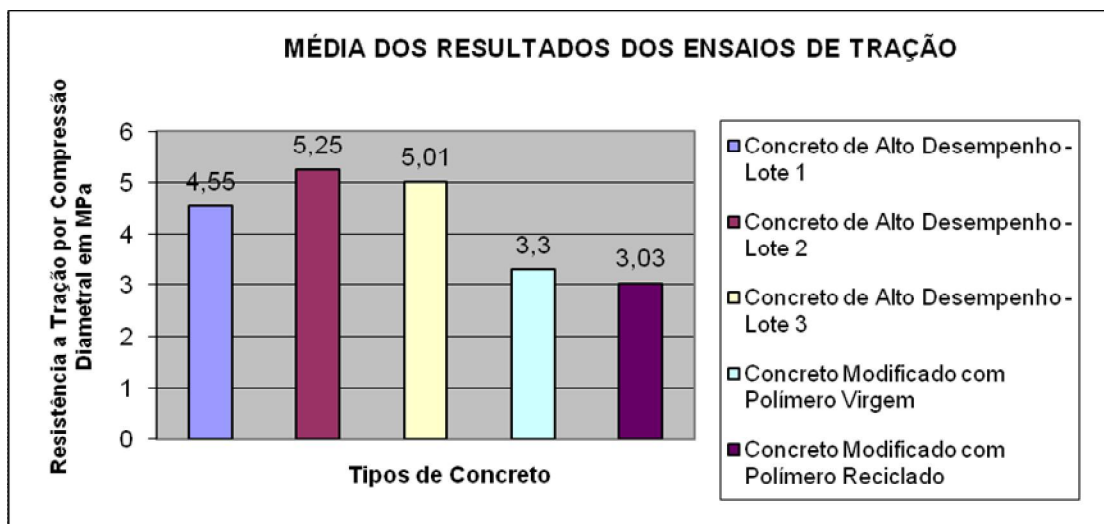
Os concretos de alto desempenham chegam a valores de compressão e tração muito elevados, devido à adição de sílica ativa e de aditivos superplastificantes que retardam o tempo de pega. O CAD tinha como função

apenas de aumentar a resistência à compressão. Atualmente, ele trabalha com a durabilidade e porosidade do concreto. Já os concretos modificados com polímeros trabalham com durabilidade e tem elevados valores de resistência a abrasão, flexão e tração, melhora sua permeabilidade e aderência.

O GRAF. 7 apresenta uma comparação direta entre o concreto modificado com polímeros de polipropileno virgem e reciclado e uma amostra dos lotes dos resultados de CAD, cedidos pelo aluno do UNIFOR, William Douglas Tomé.

Nota-se que os valores de tração do concreto de alto desempenho chegam a 64% a mais que os valores do concreto modificado com polímeros.

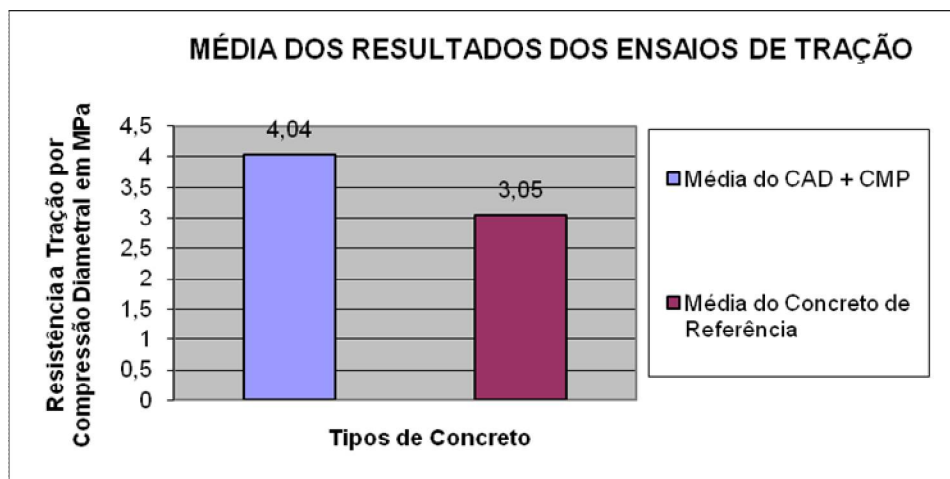
Gráfico 7 - Comparação entre concreto modificado com polímero de polipropileno virgem e reciclado com concreto de alto desempenho



Fonte: Tomé, Willian Douglas

Fazendo a combinação dos dois concretos, CAD E CMP, somando as médias deles, comparando ao concreto de referência, GRAF. 8, os valores de tração chegam a 75%.

Gráfico 8 - Comparação entre a média da soma dos dois concretos em relação ao concreto de referência



Fonte: O autor (2014)

Pode-se concluir que, se fizer a adição de polímeros de polipropileno junto ao CAD, os valores de tração seriam ainda mais altos, comparando-os com o concreto de referência. Uma vez que estaria combinando a diminuição da porosidade com aderência e permeabilidade.

O aumento da resistência mecânica, em especial a tração, garante a estrutura uma vida útil maior e um custo menor, já que nos resultados do CMP apresentou melhor desempenho quando adicionou-se menor quantidade de polímero.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados obtidos pelos gráficos, pode-se concluir que os polímeros de polipropileno virgem têm bons resultados, quanto à resistência mecânica e os polímeros de polipropileno reciclado tem bons resultados quanto à viabilidade econômica. Porém, vale ressaltar que quando se tratam de materiais de descarte, sem utilização para outros produtos.

Verifica-se que os concretos que obtiveram resultados satisfatórios foram aqueles que fizeram-se a adição de 5% de polímeros. Isso significa uma boa vantagem em questão econômica.

Ao se fazer a comparação entre o concreto de alta resistência com o concreto modificado com polímero, em relação a tração, pode-se observar que cada concreto tem sua área específica de trabalhar. Porém com a união dos dois tipos de concretos, os resultados poderiam ser bem melhores, uma vez tratando-se de solução de problemas diretamente á tração (CAD) e de soluções para a diminuição da porosidade (CMP).

Os objetivos desse trabalho foram atingidos, ao avaliar e analisar os gráficos dos resultados obtidos nos ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral. Sintetizando as informações citadas acima pode-se delinear as seguintes conclusões:

- O concreto modificado com polímero de polipropileno trouxe resultados satisfatórios à pesquisa, uma vez que esse tipo de concreto obtém resultados mais baixos comparados ao PIC e PC;
- Quanto à viabilidade desse material, os resultados foram satisfatórios devido ao baixo uso de aditivo. Pode-se observar nos gráficos que, quanto menos material polimérico adicionar à argamassa de concreto, maior será seus valores de resistência a compressão e a tração.
- O tipo de polímero utilizado em concretos comuns interfere diretamente nos resultados finais. A eficiência do polímero de polipropileno reciclado não superou em nenhum dos casos a eficiência do polímero de polipropileno virgem. Ou seja, a escolha do material polimérico é de



grande relevância para bons resultados. Mencionado no referencial teórico, para cada tipo de concreto polimérico, há uma resina polimérica específica.

- Os benefícios desses concretos são o baixo custo de reparos nas estruturas e a diversidade de obras que podem-se fazer o uso do material polimérico.
- As resinas poliméricas devem ser usadas somente quando não tiverem outra utilização, ou seja, quando forem para descarte.

## REFERÊNCIAS

- \_\_\_\_\_. **NBR 7211**: agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- AKCELRUD, L. **Fundamentos da ciência dos polímeros**. Barueri, São Paulo: Manole, 2007.
- APOSTILA de tecnologia do concreto. Paraná: Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 2004.
- AS reações de polimerização. **Mundo vestibular**, São Paulo, 26 nov. 2007. Disponível em: <<http://www.mundovestibular.com.br/articles/775/1/AS-REACOES-DE-POLIMERIZACAO---POLIMEROS-DE-ADICAO/Paacutegina1.html>>. Acesso em: 15 maio 2014.
- BARROS, C. **Apostila de polímeros**: materiais de construção edificação. Rio Grande do Sul: [s.n.], 2011.
- BORRACHA de estireno butadieno (SBR). **CTB**. [S.l.], Disponível em: <[http://www.ctb.com.pt/?page\\_id=4319](http://www.ctb.com.pt/?page_id=4319)>. Acesso em: 15 maio 2014.
- CAREY, F. A. **Química orgânica**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman; New York: McGrawHill, 2008. 2 v.
- CIMENTO ITAMBÉ. **Dosagem de concreto**. Disponível em: <<https://www.unochapeco.edu.br/static/data/portal/downloads/1279.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2014.
- CONCRETO de alto desempenho. Rio de Janeiro: [s.n.], [200-].
- COSTA, M. C. **Síntese e caracterização de polímeros acrílicos contendo acrilonitrila, acetato de vinila e metilalilsulfonato de sódio**. 1995. 90 p. Tese (Mestrado em Química Orgânica) – Universidade Estadual de Campinas Instituto de Química, Campinas, 1995.
- DÁFICO, D. A. **Básico da química do cimento Portland**. 1 ed. [S.l.]: [s.n.], 2012.
- GARCEZ, D. A. **Tecnologia do concreto de alto desempenho (CAD)**. 2008. 56 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2008.
- GOMES, A.; PINTO, A. P. F.; PINTO, J. B. **Materiais de construção**: Cimento Portland e adições. [S.l.]: [s.n.], 2013.
- GONÇALVES, J. P.; FILHO, R. D. T.; FAIRBAIRN, E. de M. R. **Estudo da hidratação de pastas de cimento Portland contendo resíduo cerâmico por meio de análise térmica**. 2006. 94 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- GUIMARÃES, C. O. **Avaliação do uso da água magnetizada na produção de concretos em centrais**. 2006. 191 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) –

Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

LUCAS, E. F.; SOARES, B. G.; MONTEIRO, E. E. C. **Caracterização de polímeros: determinação de peso molecular e análise térmica**. Rio de Janeiro: E-papers, 2001.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Polymer concrete, [S.l.], Disponível em: < [http://www.ce.berkeley.edu/~paulmont/241/Polymer\\_concrete.pdf](http://www.ce.berkeley.edu/~paulmont/241/Polymer_concrete.pdf)>. Acesso em: 16 maio 2014.

MELO, G. F. de. **Concreto celular polimérico: influência da adição de resíduo de poliéster insaturado termofixo**. 2009. 83 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

MENDES, S. E. da S. **Estudo experimental de concreto de alto desempenho utilizando agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba**. 2002. 163 p. Dissertação (Construção Civil Setor Tecnologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

MIGUEL, E. R. **Concreto de alto desempenho**. 2003. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil com Ênfase Ambiental) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2003.

MORASSI, O. J. **Minicursos do conselho regional de química IV: polímeros termoplásticos, termofixos e elastômeros**. São Paulo, 2013.

MUNIZ, M. V. S. **A influência dos aditivos aceleradores e retardadores de pega sobre a pasta de cimento portland**. 2008. 79 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

NACIMENTO, C. **Concreto polimérico**, Manaus, Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAFrXEAF/concreto-polimerico>>. Acesso em: 16 maio 2014.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

PIMENTEL, L. L. **Durabilidade de argamassas modificadas por polímeros e reforçadas com fibras vegetais**. 2004. 139 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, 2004, Campinas.

POLÍMEROS: processamento de polímeros. **UFRGS**, Rio Grande do Sul. Disponível em: < <http://www.ufrgs.br/lapol/processamento/>>. Acesso em: 15 maio 2014.

PROGRAMA de palestra sobre concretos especiais – POLÍMEROS, 55., 2002, São Carlos. **Anais...** São Carlos: [s.n.], 2002.

RIBOLI, L. E. L. **Resistência mecânica e durabilidade de concretos modificados com polímeros**. 2012. 48 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em

Engenharia Civil) – Centro de Ciências Tecnológicas da Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2012.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré fabricados esbeltos – dosagem, produção, propriedades e microestrutura**. 2003. 220 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SANTOS, B. B. dos. **Compósitos de polipropilenos reciclado e pó de coco**. 2012. 51 p. trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

SILVA, A. L. da. **Concreto de alto desempenho CAD: estudo de caso edifício e-Tower**. 2003. 69 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil com Ênfase Ambiental) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2003.

SILVA, R. do N. **Um estudo sobre o concreto de alto desempenho**. 2010. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2010.

STYRENE-ACRYLATE copolymer. **Relatório público**. Austrália: [s.n.], 1991.

TECNUM CONSTRUTORA. **Concreto de alto desempenho: o concreto de 125 MPa do e-Tower de São Paulo**. Disponível em <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/c.especiais/E-Tower.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2014.

TEIXEIRA, L. M. Adição de polímeros ao concreto visando durabilidade. 2010. 13 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

TEZUCA, Y. **Concreto modificado com polímero**, São Paulo, 10 dez 2007. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/concreto-modificado-com-polimero/>>. Acesso em: 16 maio 2014.

TONET, K. G. **Concreto polímero com resina reciclada de pet: influência na combustibilidade frente à adição de resíduos industriais**. 2009. 149 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2009.

VECCHIO, F. J. C. del. **Influência da taxa de carregamento nas propriedades mecânicas do concreto polimérico**. 2011. 79 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2011.

VIEIRA, F. T. **Características, aplicações e processamento dos polímeros**. 2011. 33 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, 2011.

ZATTERA, A. J. et al. **Polímeros: ciência e tecnologia**. Rio Grande do Sul: [s.n.], 2005. 15 v.

## APÊNDICE A – REPRESENTAÇÃO DOS CÁLCULOS

Representação dos cálculos que constitui a definição do traço adotado para o concreto de cimento Portland modificado com polímeros. Todos os dados obtidos para a realização dos cálculos estão nas tabelas do anexo no presente trabalho.

Dados:

- Cimento CP V- ARI
- $\gamma_c = 3,1\text{kg/cm}^3$
- Condição de preparo: Cimento medido em massa, agregados e água em volume, umidade dos agregados estimada. Desvio padrão (sd) = 7 MPa
- Areia Grossa: MF = 3,4 Inch. 30% c/ 6% de umidade
- Brita 1: D<sub>máx</sub> = 19,0 milímetros
- F<sub>ck</sub> do concreto = 35MPa
- Abatimento = 70 +/- 20 milímetros
- $\gamma_b = 2700\text{kg/cm}^3$
- $\mu = 1500\text{kg/m}^3$
- $\gamma_m = 3100\text{kg/m}^3$
- $\gamma_a = 1000\text{kg/m}^3$

Conforme a Equação 1, determinou-se o fator de água/cimento.

$$F_{C_{28}} = f_{ck} + 1,65 \times sd \quad \dots(1)$$

Onde,

$f_{ck}$  – Resistência do concreto desejada

Sd – Desvio padrão conforme condição de preparo

$$F_{C_{28}} = 35 + 1,65 \times 7$$

$$F_{C_{28}} = 46,55\text{Mpa}$$

No ábaco de Abrams, localizada no anexo deste trabalho, encontrou-se o valor  $F_{a/c} = 0,47$ .

Definido o tipo de brita que se utilizou no experimento, observa-se pela tabela de consumo de água em relação ao abatimento, o valor para obter o consumo de água.

Consumo de água:  $C_a = 200\text{l/m}^3$

Após definir o consumo de água, pode-se definir também o consumo de cimento, de acordo com a Equação 2:

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad \dots(2)$$

Onde,

$C_c$  – Consumo de cimento ( $\text{Kg}^3$ )

$C_a$  – Consumo de água ( $\text{l/m}^3$ )

$a/c$  – Relação de água/cimento (l)

Obteve-se:

$$C_c = \frac{200}{0,47} \quad C_c = 425,53 \text{ Kg/m}^3$$

A dimensão do agregado graúdo definida, encontra-se pelo valor de  $V_b$  conforme a tabela do módulo de finura do anexo. Faz-se o cálculo do consumo de agregado graúdo de acordo com a Equação 3:

$$C_b = V_b \times M_u \quad \dots(3)$$

Onde,

$C_b$  – Consumo de agregado graúdo ( $\text{kg/m}^3$ )

$V_b$  – Coeficiente do agregado graúdo

$M_u$  – Massa unitária compactada do agregado graúdo

$$V_b = 0,610$$

$$C_b = 0,610 \times 1500$$

$$C_b = 915,0 \text{ Kg/m}^3$$

Utiliza-se da Equação 4 para encontrar o volume de agregado miúdo necessários a mistura.

$$V_m = 1 - \left( \frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad \dots(4)$$

Onde,

$V_{\text{areia}}$  – Volume da areia

$C_c$  – Consumo de cimento

$\gamma_c$  – Coeficiente do cimento

$C_b$  – Consumo do agregado graúdo

$\gamma_b$  – Coeficiente do agregado graúdo

$C_a$  – Consumo de água (l/m<sup>3</sup>)

$\gamma_a$  – Coeficiente da água

Resultados:

$$V_{\text{areia}} = 1 - \left( \frac{425,53}{3100} + \frac{915}{2700} + \frac{200}{1000} \right)$$

$$V_{\text{areia}} = 1 - 0,676$$

$$V_{\text{areia}} = 0,323 \text{ m}^3$$

Logo vem o cálculo do consumo de areia de acordo com a Equação 5:

$$C_{\text{areia}} = \gamma_m \times V_m \quad \dots(5)$$

Onde,

$C_{\text{areia}}$  – Consumo de areia (Kg)

$V_m$  – Volume de areia encontrado (m<sup>3</sup>)

$$C_{\text{areia}} = 0,323 \times 2600$$

$$C_{\text{areia}} = 841,9 \text{ kg/m}^3$$

Enfim, com a Equação 6, calcula-se o traço unitário para a confecção dos corpos de prova.

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \quad \dots(6)$$

Onde,

$C_c$  – Consumo de cimento

$C_m$  – Consumo de areia

$C_b$  – Consumo de brita

$C_a$  – Consumo de água

$$\frac{425,53}{425,53} : \frac{841,9}{425,53} : \frac{915}{425,53} : \frac{200}{425,53}$$

$$1 : 1,97 : 2,15 : 0,47$$

Definido o traço, calculou-se a quantidade de material em cada corpo de prova. Utilizou-se de 28 moldes com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura.

Pela Equação 7, encontra-se a área da base dos cilindros:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad \dots(7)$$

Onde,

$A_{\text{base}}$  – Área da base do cilindro ( $\text{m}^2$ )

$\pi$  – 3,14



D – Diâmetro (m)

$$A = \frac{\pi \times 0,10^2}{4}$$

$$A_{\text{base}} = 7,85 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Calculando pela Equação 8, achou o volume dos cilindros:

$$V_{\text{cilindro}} = A_{\text{base}} \times h \quad \dots(8)$$

Onde,

$V_{\text{cilindro}}$  – Volume do cilindro ( $\text{m}^3$ )

$A_{\text{base}}$  – Área da base do cilindro ( $\text{m}^2$ )

H – Altura (m)

$$V_{\text{cilindro}} = 7,85 \times 10^{-3} \times 0,20$$

$$V_{\text{cilindro}} = 1,57 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Pela Equação 9 pode-se saber a quantidade de material em cada cilindro:

$$Q_{\text{mat}} = V_{\text{cilindro}} \times C_{\text{mat}} \times \text{traço} \quad \dots(9)$$

Onde,

$Q_{\text{mat}}$  – Quantidade de materiais

$V_{\text{cilindro}}$  – Volume do cilindro, calculado anteriormente

$C_{\text{mat}}$  – Consumo de materiais

$$Q_{\text{cimento}} = 1,57 \times 10^{-3} \times 425,53 \times 1$$

$$Q_{\text{cimento}} = 0,668 \text{ Kg/cilindro}$$

Para 28 cilindros  $Q_{\text{cimento}} = 18,7 \text{ kg de cimento}$

$$Q_{\text{agregado graúdo}} = 1,57 \times 10^{-3} \times 915 \times 2,15$$

$$Q_{\text{agregado graúdo}} = 3,088 \text{ kg/cilindro}$$

$$\text{Para 28 cilindros } Q_{\text{agregado graúdo}} = 86,48 \text{ kg de brita 1}$$

$$Q_{\text{agregado miúdo}} = 1,57 \times 10^{-3} \times 841,9 \times 1,97$$

$$Q_{\text{agregado miúdo}} = 2,604 \text{ kg/cilindro}$$

$$\text{Para 28 cilindros } Q_{\text{agregado miúdo}} = 72,91 \text{ kg de areia}$$

$$Q_{\text{água}} = 18,7 \times 0,47$$

$$Q_{\text{água}} = 8,790 \text{ Kg de água}$$

A água sofre alterações conforme adição de polímero. (TAB. 9). Foi alterado o fator água/cimento para fazer os testes, aumentando a resistência final do concreto. Obtiveram-se os seguintes valores:

Tabela 9 – Quantidade de materiais utilizada nas dosagens

<b>MATERIAIS</b>	<b>CORPO DE PROVA DE REFERÊNCIA</b>	<b>CORPO DE PROVA COM ADIÇÃO DE 5% POLÍMERO</b>	<b>CORPO DE PROVA COM ADIÇÃO DE 10% POLÍMERO</b>	<b>CORPO DE PROVA COM ADIÇÃO DE 15% POLÍMERO</b>
Cimento (kg)	18,7	18,7	18,7	18,7
Brita (kg)	86,5	86,5	86,5	86,5
Areia (kg)	73	73	73	73
$F_{a/c}$	0,47	0,465	0,46	0,45
Água (kg)	8,789	8,695	8,602	8,415
Polímero (Kg)	0	0,94	1,88	2,81

Fonte: O autor (2014)

## APÊNDICE B – REPRESENTAÇÃO DAS TABELAS DOS GRÁFICOS

Representação das tabelas que constituem os gráficos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

### ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL POLÍMERO VIRGEM

TIPO DE CONCRETO	RESULTADOS	MÉDIA
Concreto de Referência	33,80	33,45
	33,10	
Concreto Modificado com Polímero Virgem 5%	34,30	34,75
	35,20	
Concreto Modificado com Polímero Virgem 10%	34,70	34,60
	34,50	
Concreto Modificado com Polímero Virgem 15%	33,60	33,75
	33,90	

### ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL POLÍMERO RECICLADO

TIPO DE CONCRETO	RESULTADOS	MÉDIA
Concreto de Referência	33,80	33,45
	33,10	
Concreto Modificado com Polímero Reciclado 5%	34,90	34,50
	34,10	
Concreto Modificado com Polímero Reciclado 10%	33,60	33,45
	33,30	
Concreto Modificado com Polímero Reciclado 15%	32,90	32,70
	32,50	

### COMPARAÇÃO ENTRE CONCRETO MODIFICADO COM POLÍMERO VIRGEM X RECICLADO

TIPO DE CONCRETO	RESULTADOS	MÉDIA
Concreto de Referência	33,80	33,45
	33,10	
Concreto Modificado com Polímero Virgem 5%	34,30	
	35,20	

Concreto Modificado com Polímero Reciclado 5%	34,90	34,50
	34,10	
Concreto Modificado com Polímero Virgem 10%	34,70	34,60
	34,50	
Concreto Modificado com Polímero Reciclado 10%	33,60	33,45
	33,30	
Concreto Modificado com Polímero Virgem 15%	33,60	33,75
	33,90	
Concreto Modificado com Polímero Reciclado 15%	32,90	32,70
	32,50	

---



---

**ENSAIO DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL COM POLÍMERO VIRGEM**

TIPO DE CONCRETO	RESULTADOS	MÉDIA
Concreto de Referência	3,1	3,05
	3,0	
Concreto Modificado com Polímero Virgem 5%	3,4	3,50
	3,6	
Concreto Modificado com Polímero Virgem 10%	3,5	3,35
	3,2	
Concreto Modificado com Polímero Virgem 15%	3,0	3,05
	3,1	

---



---

**ENSAIO DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL COM POLÍMERO RECICLADO**

TIPO DE CONCRETO	RESULTADOS	MÉDIA
Concreto de Referência	3,1	3,05
	3,0	
Concreto Modificado com Polímero Reciclado 5%	3,3	3,30
	3,3	
Concreto Modificado com Polímero Reciclado 10%	3,1	3,05
	3,0	
Concreto Modificado com Polímero Reciclado 15%	2,9	2,75
	2,6	

**COMPARAÇÃO ENTRE CONCRETO MODIFICADO COM POLÍMERO  
VIRGEM X RECICLADO**

<b>TIPO DE CONCRETO</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>MÉDIA</b>
Concreto de Referência	3,1	3,05
	3,0	
Concreto Modificado com Polímero Virgem 5%	3,4	3,50
	3,6	
Concreto Modificado com Polímero Reciclado 5%	3,3	3,30
	3,3	
Concreto Modificado com Polímero Virgem 10%	3,5	3,35
	3,2	
Concreto Modificado com Polímero Reciclado 10%	3,1	3,05
	3,0	
Concreto Modificado com Polímero Virgem 15%	3,0	3,05
	3,1	
Concreto Modificado com Polímero Reciclado 15%	2,9	2,75
	2,6	

**COMPARAÇÃO DOS ENSAIOS DE TRAÇÃO DO CAD X CMP**

<b>TIPO DE CONCRETO</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>MÉDIA</b>
Concreto de Alto Desempenho – Lote 1	4,58	4,55
	4,71	
	4,98	
	3,93	
Concreto de Alto Desempenho – Lote 1	4,62	5,25
	5,86	
	4,84	
	5,66	
Concreto de Alto Desempenho – Lote 1	5,65	5,01
	5,33	
	4,28	
	4,77	
Concreto Modificado com Polímero Virgem	3,50	3,30
	3,35	
	3,05	
Concreto Modificado com Polímero Reciclado	3,3	3,03
	3,05	

	2,75	
--	------	--

**COMPARAÇÃO DA MÉDIA DO CAD + CMP X MÉDIA DO CONCRETO DE REFERÊNCIA**

<b>TIPO DE CONCRETO</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>MÉDIA</b>
CAD + CMP	4,55	4,04
	5,25	
	5,01	
	3,30	
	3,03	
Concreto de Referência	3,05	3,05
	3,05	

## ANEXO A – REPRESENTAÇÃO DAS TABELAS E ÁBACO UTILIZADOS NOS CÁLCULOS

Para a realização dos cálculos e dos experimentos utilizou-se das seguintes tabelas e ábaco apresentadas a seguir:

Tabela condição para cálculo do traço:

CONDIÇÃO DE PREPARO EM FUNÇÃO DO DESVIO PADRÃO (sd)	
<b>Condição A</b> (sd = 4,0 MPa)	Materiais dosados em massa e a água de amassamento é corrigida em função da correção de umidade dos agregados. Classe C 10 a C 80
<b>Condição B</b> (sd = 5,5 MPa)	Cimento dosado em massa, agregados dosados em massa combinada com volume, a umidade do agregado miúdo é determinada e o volume do agregado miúdo é corrigido através da curva de inchamento. Classe C 10 a C 25
<b>Condição C</b> (sd = 7,0 MPa)	Cimento medido em massa, agregados e água em volume, umidade dos agregados estimada. Classe C 10 e C 15

Ábaco de Abrams:

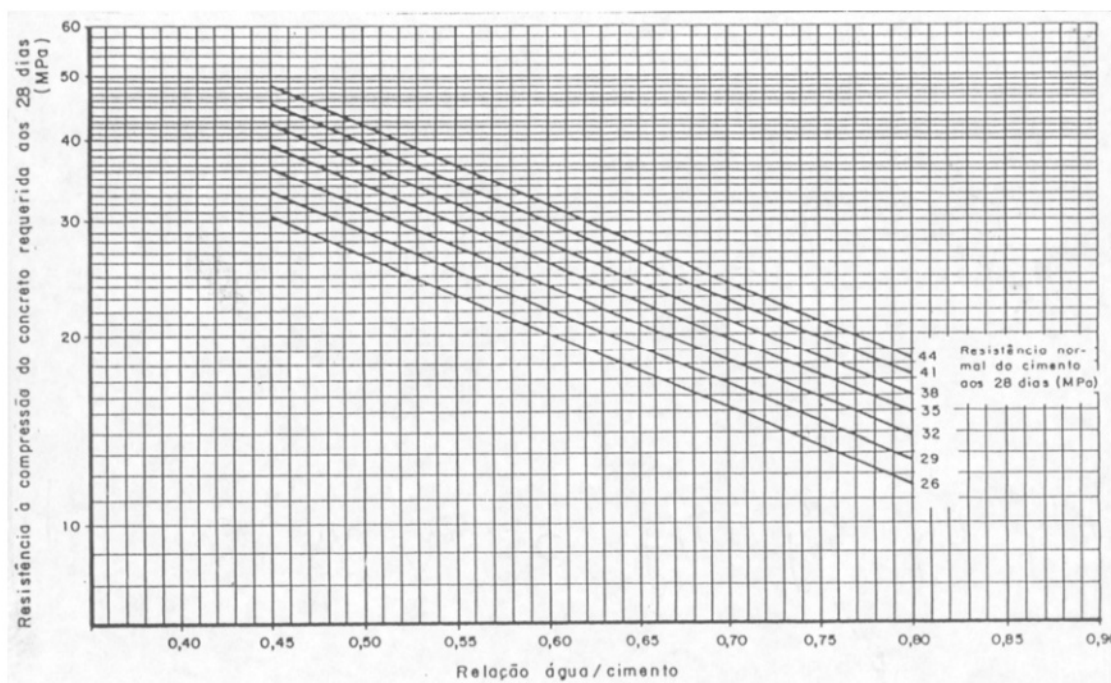


Tabela de consumo de água em relação ao abatimento desejado:

<b>CONSUMO DE ÁGUA APROXIMADO (l/m³)</b>					
<b>ABATIMENTO (mm)</b>	<b>D<sub>máx</sub> agregado graúdo (mm)</b>				
	<b>9,5</b>	<b>19,0</b>	<b>25,0</b>	<b>32,0</b>	<b>38,0</b>
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Tabela do módulo de finura da areia:

<b>CLASSIFICAÇÃO COMERCIAL DO AGREGADO MIÚDO PARA CONCRETO</b>	
<b>TIPO DE AREIA</b>	<b>MÓDULO DE FINURA</b>
<b>Areia Fina</b>	Módulo de finura 1,55 a 2,20. Na faixa da Zona utilizável inferior
<b>Areia Média</b>	Módulo de finura 2,20 a 2,90. Na faixa da Zona ótima
<b>Areia Grossa</b>	Módulo de finura 2,90 a 3,50. Na faixa da Zona utilizável superior
<b>Areia Muito Fina e Areia Muito Grossa</b>	Areia muito fina fora da Zona utilizável inferior. Areia muito Grossa fora da Zona utilizável superior

Tabela de finura da brita:

<b>CLASSIFICAÇÃO COMERCIAL DO AGREGADO GRAÚDO PARA CONCRETO</b>	
<b>TIPO DE BRITA</b>	<b>FINURA (mm)</b>
<b>Brita 0</b>	4,8 a 12,5
<b>Brita 1</b>	9,5 a 25
<b>Brita 2</b>	19 a 32
<b>Brita 3</b>	25 a 50
<b>Brita 4</b>	38 a 75



Tabela da dimensão máxima da brita em relação ao MF da areia:

MF	DIMENSÃO MÁXIMA (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665