

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

LUCILENE DOS REIS BARROS FERREIRA

**Estudo das Propriedades Mecânicas do Concreto com Adição de Látex para
Aplicação em Pavimento**

Ilha Solteira
2017

LUCILENE DOS REIS BARROS FERREIRA

**Estudo das propriedades Mecânicas do Concreto com Adição de Látex para
Aplicação em Pavimento**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como
parte dos requisitos para obtenção do título
de Mestre Área do conhecimento: Área de
Estruturas

Profa. Dra. Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque
Orientador

Ilha Solteira
2017

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

F383e Ferreira, Lucilene dos Reis Barros.
Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de látex para aplicação em pavimento / Lucilene dos Reis Barros Ferreira. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017
88 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia . Área de conhecimento: Estruturas, 2017

Orientador: Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque
Inclui bibliografia

1. Látex. 2. Concreto. 3. Pavimento rígido.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: **Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de latex para aplicação em pavimento**

AUTORA: LUCILENE DOS REIS BARROS

ORIENTADORA: MARIA DA CONSOLAÇÃO FONSECA DE ALBUQUERQUE

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHARIA CIVIL, área: ESTRUTURAS pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. MARIA DA CONSOLAÇÃO FONSECA DE ALBUQUERQUE
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. RUI CAMARGO TOKIMATSU
Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. ALEXSANDRO DOS SANTOS FELIPE
Estruturas / Instituto Federal de São Paulo

Ilha Solteira, 31 de janeiro de 2017

AGRADECIMENTOS

A Capi Engenharia, por estar de portas aberta e apoiar a realização deste estudo, disponibilizando equipamentos e o laboratório. Agradeço principalmente, ao Eng. João Carvalho e seus colaboradores, Carmo e equipe técnica.

Ao Laboratório de Construção Civil da Unesp de Ilha Solteira e, aos funcionários Gilson e Flávio por serem prestativos e pacientes.

A professora e orientadora Profa. Dra. Maria da Consolação Fonseca de Albulquerque pela a atenção e dedicação a essa pesquisa.

Ao colega de curso do mestrado Thiago, pela ajuda no desenvolvimento experimental da pesquisa.

Ao meu sobrinho Paulo Henrique e cunhada Vanessa, pelo auxílio no desenvolvimento experimental da pesquisa.

Ao meu marido Rogério, que participou desta pesquisa sendo meu maior incentivador, companheiro, compreendendo minhas ausências, por estar ao meu lado em cada decisão e ter suado a camisa comigo no laboratório. Não tenho palavras para agradecer.

Ao meu filho Joaquim que desde dentro da minha barriga participou, fizemos muitos concretos juntos, viajamos muito e após seu nascimento mesmo pequeno me ajudou muito por ser compreensivo à minha ausência.

A minha mãe Maria, por estar ao meu lado em todos os momentos da minha vida.

E, acima de tudo agradeço a DEUS pela oportunidade de viver e ter capacidade para enfrentar os desafios.

RESUMO

Esta dissertação trata-se de uma pesquisa, com acréscimo de látex natural e látex sintético SBR (estireno butadieno) na massa do concreto para aplicação em pavimento e análise de seu comportamento, tanto no estado fresco quanto endurecido. A proposta visa analisar o comportamento do látex sintético SBR e do látex coletado diretamente do seringal, apenas com adição de amônia. Sendo que o látex sintético já é usado para ser acrescido na argamassa. Os ensaios realizados foram de: Resistência à compressão axial, Resistência à tração na flexão e Módulo de Elasticidade para as idades de 7, 28 e 50 dias. Em uma segunda etapa, foram realizados novos ensaios, mas com o látex sem a amônia, apenas com o látex puro, apenas para analisar a influência da amônia. Nessa nova etapa foi realizado, somente ensaio de resistência à compressão. Os resultados mostraram que o látex com a amônia diminuíram as resistências à compressão e à tração na flexão para as idades de 7 e 28 dias e para 50 dias essa tendência desaparece. O módulo de elasticidade também apresentou queda, para o concreto com látex com amônia, entretanto isto é positivo para o concreto aplicado em pavimento, pois indica um aumento na capacidade de deformação para a mesma carga, ou seja, o material apresentou maior capacidade de deformação elástica. O módulo de elasticidade para o concreto com látex sintético foi maior que o de referência, para todas as idades. O Látex sem a amônia apresentou queda para o ensaio de resistência à compressão, confirmando que o aditivo aplicado para não deixar o látex coagular, não influencia nas propriedades do concreto.

Palavras-chave: Látex. Pavimento rígido. Concreto.

ABSTRACT

This dissertation is about a research, with addition of natural latex and synthetic latex SBR (styrene butadiene) in the concrete mass for application in pavement and analysis of its behavior, in both the fresh and hardened state. The purpose is analyze the behavior of synthetic latex SBR (styrene butadiene) and latex collected directly from the rubber tree, being that the synthetic latex is already used to be added in concrete. The tests were: axial compression strength, flexural tensile strength and modulus of elasticity for the ages of 7, 28 and 50 days. In a second step, new tests were performed, but with latex without ammonia, only with pure latex to analyze the influence of ammonia. In this new step, only the compressive strength test was performed. The results showed that latex with ammonia decreased the compressive and flexural tensile strengths at the ages of 7 and 28 days and for 50 days this tendency disappears. The modulus of elasticity also showed a drop, for latex concrete with ammonia, however this is positive for the concrete applied in pavement, since it indicates an increase in the capacity of deformation for the same load, that is, it indicates that the material is more ductile. The modulus of elasticity for concrete with synthetic latex was higher than the reference, for all ages. Latex without ammonia showed a drop for the compressive strength test, confirming that the additive applied not to allow the latex to stiffen does not influence the properties of the concrete.

Keywords: Latex. Rigid pavement. Concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Principais látex	24
Figura 2	- Curva granulométrica do agregado miúdo (Porto de areia Salione)	30
Figura 3	- Curva granulométrica do agregado miúdo (Porto de areia de Castilho)	31
Figura 4	- Curva granulométrica do agregado graúdo (Porto de areia Salione)	33
Figura 5	- Curva granulométrica do agregado graúdo (Porto de areia de Andradina)	34
Figura 6	- Curva de Abrams do cimento	41
Figura 7	- Molde corpo de prova cilíndrico	44
Figura 8	- Molde corpo de prova prismático	44
Figura 9	- Ensaio de abatimento	46
Figura 10	- Máquina de ensaio mecânico à compressão e módulo de elasticidade	47
Figura 11	- Máquina de ensaio mecânico à tração na flexão	47
Figura 12	- Representação esquemática do ensaio de flexão de 4 pontos	49
Figura 13	- Máquina de ensaio mecânico à tração na flexão de 3 pontos	49
Figura 14	- Ensaio do módulo de elasticidade	51
Figura 15	- Representação esquemática do carregamento para determinação do módulo de elasticidade	52
Figura 16	- Resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_{c7}) (7 dias – MPa)	62
Figura 17	- Resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_{c28}) (28 dias – MPa)	62
Figura 18	- Resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_{c28}) (28 dias – MPa)	65
Figura 19	- Resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_{c50}) (50 dias – MPa)	65
Figura 20	- Resultado do ensaio à tração na flexão ($f_{ct,f}$) (7dias – MPa)	68
Figura 21	- Resultado do ensaio à tração na flexão ($f_{ct,f}$) (28 dias MPa)	68

Figura 22	- Resultado do ensaio à tração na flexão ($f_{ct,f}$) (28 dias – MPa)	70
Figura 23	- Resultado do ensaio a tração na flexão ($f_{ct,f}$) (50 dias – MPa)	70
Figura 24	- Resultado do módulo de elasticidade (E_{ci}) (7 dias - GPa)	73
Figura 25	- Resultado do módulo de elasticidade (E_{ci}) (28 dias - GPa)	73
Figura 26	- Resultado relação módulo/resistência (E_{ci}/F_c) (7 dias – MPa)	74
Figura 27	- Resultado relação módulo/resistência (E_{ci}/F_c) (28 dias – MPa)	75
Figura 28	- Resultado do módulo de elasticidade (E_{ci}) (28 dias - GPa)	77
Figura 29	- Resultado do módulo de elasticidade (E_{ci}) (50 dias - GPa)	77
Figura 30	- Resultado relação módulo/resistência (E_{ci}/f_c) (28 dias – MPa)	79
Figura 31	- Resultado relação módulo/resistência (E_{ci}/f_c) (50 dias – MPa)	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Propriedades físicas e mecânicas do cimento empregado	28
Tabela 2	- Ensaio de granulometria do agregado miúdo (Porto de areia Salione)	29
Tabela 3	- Propriedade física do agregado miúdo (Porto de areia Salione)	30
Tabela 4	- Ensaio de granulometria do agregado miúdo (Porto de areia de Castilho)	31
Tabela 5	- Propriedade física do agregado miúdo (Porto de areia de Castilho)	32
Tabela 6	- Ensaio de granulometria do agregado graúdo (Porto de areia Salione)	32
Tabela 7	- Propriedade física do agregado graúdo (Porto de areia Salione)	33
Tabela 8	- Ensaio de granulometria do agregado graúdo (Porto de areia de Andradina)	34
Tabela 9	- Propriedade física do agregado graúdo (Porto de areia de Andradina)	35
Tabela 10	- Propriedades e características do látex sintético	35
Tabela 11	- Determinação aproximada do consumo de água	41
Tabela 12	- Consumo de agregado graúdo (m ³)	42
Tabela 13	- Denominação e dosagem do concreto	53
Tabela 14	- Composição em massa do traço (1:1,20:2,37)	54
Tabela 15	- Composição em massa do traço (1:1,41:1,82)	54
Tabela 16	- Denominações e dosagem do concreto	55
Tabela 17	- Composição em massa do traço (1:1,18:2,19)	55
Tabela 18	- Ordem dos materiais na betoneira para o traço referência	56
Tabela 19	- Ordem dos materiais na betoneira para o traço com látex	57
Tabela 20	- Resultados do ensaio de abatimento do tronco de cone (fase I)	58
Tabela 21	- Resultados do ensaio de abatimento do tronco de cone (fase II)	59

Tabela 22	- Resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_{c7}) (7dias - MPa)	61
Tabela 23	- Resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_{c28}) (28 dias - MPa)	61
Tabela 24	- Resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_{c28}) (28 dias - MPa)	64
Tabela 25	- Resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_{c50}) (50 dias - MPa)	64
Tabela 26	- Resultado do ensaio à tração na flexão ($f_{ct,f}$) (7dias - MPa)	67
Tabela 27	- Resultado do ensaio à tração na flexão ($f_{c,t}$) (28 dias - MPa)	67
Tabela 28	- Resultado do ensaio à tração na flexão ($f_{c,t}$) (28 dias - MPa)	69
Tabela 29	- Resultado do ensaio à tração na flexão ($f_{c,t}$) (50 dias - MPa)	69
Tabela 30	- Resultado do módulo de elasticidade (E_{ci}) (7 dias - GPa)	72
Tabela 31	- Resultado do módulo de elasticidade (E_{ci}) (28 dias - GPa)	72
Tabela 32	- Resultado relação módulo/resistência (E_{ci}/f_c) (7 dias – MPa)	74
Tabela 33	- Resultado relação módulo/resistência (E_{ci}/f_c) (28 dias – MPa)	74
Tabela 34	- Resultado do módulo de elasticidade (E_{ci}) (28 dias - GPa)	76
Tabela 35	- Resultado do módulo de elasticidade (E_{ci}) (50 dias - GPa)	76
Tabela 36	- Resultado relação módulo/resistência (E_{ci}/f_c) (28 dias – MPa)	78
Tabela 37	- Resultado relação módulo/resistência (E_{ci}/f_c) (50 dias – MPa)	78

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP's	Corpo de Prova
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
MPa	Mega pascal
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
PVC	Policloreto de Polivinila
SBR	Látex Estireno Butadieno

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	PAVIMENTO RÍGIDO.....	16
2.2	CONCRETOS PARA PAVIMENTO RÍGIDO	17
2.2.1	Cimento.....	18
2.2.2	Agregados	19
2.2.3	Água.....	20
2.2.4	Aditivos	21
2.2.5	Propriedades do concreto no estado fresco	21
2.2.6	Propriedades do concreto no estado endurecido	22
2.3	CONCRETO MODIFICADO COM LÁTEX.....	22
2.3.1	Látex.....	22
2.3.2	Concreto com látex	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1	MATERIAIS	28
3.1.1	Aglomerante	28
3.1.2	Agregados	28
3.1.2.1	<i>Agregado miúdo</i>	29
3.1.2.2	<i>Agregado graúdo</i>	32
3.1.3	Água.....	35
3.1.4	Látex.....	35
3.2	MÉTODOS	35
3.2.1	Granulometria e módulo de finura dos agregados	36
3.2.2	Determinação da massa específica do agregado miúdo.....	37
3.2.3	Determinação da massa específica do agregado graúdo	38
3.2.4	Determinação da massa unitária e do volume de vazios	39

3.2.5	Determinação da dosagem	39
3.2.6	Moldagem, capeamento e cura.....	43
3.2.7	Ensaio do concreto no estado fresco	45
3.2.7.1	<i>Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone</i>	<i>45</i>
3.2.8	Ensaio mecânicos do concreto no estado endurecido	46
3.2.8.1	<i>Ensaio de compressão à resistência axial</i>	<i>48</i>
3.2.8.2	<i>Ensaio de tração na flexão</i>	<i>48</i>
3.2.8.3	<i>Determinação do módulo de elasticidade</i>	<i>50</i>
3.2.9	Traços empregados e processo produtivo	53
3.2.9.1	<i>Fase I.....</i>	<i>53</i>
3.2.9.2	<i>Fase II.....</i>	<i>54</i>
3.2.9.2	<i>Processo produtivo.....</i>	<i>56</i>
4	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	58
4.1	CONCRETO NO ESTADO FRESCO	58
4.1.1	Ensaio de abatimento do tronco de cone.....	58
4.1.1.1	<i>Resultados fase I.....</i>	<i>58</i>
4.1.1.2	<i>Resultados fase II.....</i>	<i>59</i>
4.2	CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	60
4.2.1	Ensaio mecânicos	60
4.2.1.1	<i>Resistência à compressão axial.....</i>	<i>60</i>
4.2.1.1.1	<i>Resultados fase I.....</i>	<i>60</i>
4.2.1.1.2	<i>Resultados fase II.....</i>	<i>63</i>
4.2.1.2	<i>Resistência à tração na flexão.....</i>	<i>67</i>
4.2.1.2.1	<i>Resultados fase I.....</i>	<i>67</i>
4.2.1.2.2	<i>Resultados fase II.....</i>	<i>69</i>
4.2.1.3	<i>Módulo estático de elasticidade.....</i>	<i>71</i>
4.2.1.3.1	<i>Resultados Fase I.....</i>	<i>71</i>

4.2.1.3.2	<i>Resultados fase II</i>	75
5	CONCLUSÃO	81
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	83
	REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho estuda as propriedades mecânicas do concreto, para aplicação em pavimento, com adição de látex natural (líquido aquoso branco). O látex natural sem aplicação da amônia (produto químico desenvolvido para não coagular o látex por alguns dias até sua aplicação final) e, o látex com a aplicação da amônia, foi usado com objetivo melhorar a capacidade para se deformar, sendo que a falta dessa capacidade favorece o desenvolvimento de fissuras.

O concreto para uso em pavimento necessita de estudos e projetos específicos, para que seja um produto que tenha uma vida útil prolongada e traga conforto aos seus usuários.

A utilização de polímeros em concreto para melhorar suas propriedades é estudada desde 1923, segundo Pimentel (2005). As pesquisas realizadas mostraram que o uso de borracha natural e látex sintéticos, como o estireno butadieno que é um dos polímeros utilizados em concretos e argamassas, apresentaram melhorias significativas nas propriedades relacionadas à durabilidade e resistência a tração.

1.1OBJETIVOS

O objetivo dessa pesquisa constitui em:

- Análise da influência do látex substituído em parte da água de amassamento, nas propriedades do concreto fresco especificamente a trabalhabilidade (ensaio de abatimento).
- Análise da influência do látex substituído em parte da água de amassamento, nas propriedades do concreto endurecido, resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade.
- Análise da influência da amônia nas propriedades do concreto.
- Comparar o látex natural com o látex sintético estireno butadieno nas propriedades do concreto no estado fresco (ensaio de abatimento) e endurecido.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PAVIMENTO RÍGIDO

Os precursores do pavimento rígido foram os ingleses em 1865. Em diversos países como Alemanha e Estados Unidos, o pavimento de concreto passou a ter preferência para vias de estradas antes da segunda guerra Mundial. Na Alemanha cerca de 90% das estradas eram de concreto, nos Estados Unidos no fim de 1950, 89% das vias urbanas e 79% das vias rurais eram de concreto. No Brasil o primeiro pavimento de concreto ligou São Paulo a Cubatão em 1926. (SENÇO, 1997).

Segundo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes- DNIT (2004), pavimento é uma estrutura construída após terraplanagem e destinada, econômica e simultaneamente, a:

- Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento;

O pavimento rígido é formado por camadas que trabalham a tração. O dimensionamento do pavimento rígido é baseado nas propriedades das placas de concreto, que são apoiadas em uma sub-base. Estas são submetidas a vários tipos de tráfego e cargas durante sua vida.

De acordo com Balbo (2009) os tipos de pavimento rígido são: concreto simples, concreto com armadura descontínua, concreto continuamente armado, concreto estruturalmente armado, concreto protendido, concreto com fibras e *whitetopping*.

Pavimento de concreto simples: é o pavimento de concreto de cimento portland moldado in loco, no qual as tensões solicitantes são combatidas somente pelo próprio concreto e não contem nenhum tipo de armadura.

Pavimento com armadura descontínua: possui armadura para combater as fissuras oriundas da retração do concreto, as barras são colocadas geralmente cinco cm da superfície em cada junta transversal e longitudinal do pavimento.

Pavimento de concreto continuamente armado: possui armadura longitudinal contínua e não possuem juntas transversais intermediárias, esse tipo de pavimento é normalmente empregado em aeroportos.

Ainda Balbo (2009), Pavimento concreto estruturalmente armado: Possui telas e barras de aço de transferência na parte superior e inferior da placa, sua principal função é combater as tensões geradas pelo carregamento.

Pavimento de concreto protendido: empregado em pisos industriais e aeroportos, sua principal finalidade é reduzir a espessura do concreto.

Pavimento de concreto com fibras: São placas de concreto com adição de fibras de aço ou polimérica, sua função é reduzir as fissuras, melhorar o impacto ao desgaste e uma boa ductilidade.

Pavimento whitetopping: é um pavimento de concreto simples, destinado ao recapeamento de pavimento flexível.

Os tipos de pavimento rígido apresentados acima são os básicos e, atualmente, desenvolveram pesquisas em pavimento rígido como:

Pavimento Whitetopping ultradelgado: que é uma fina camada de concreto de alta resistência sobre o pavimento de concreto asfáltico fresado.

Pavimento Permeável: é um concreto poroso, sua característica primária são os vazios interconectados entre as partículas de agregados. (HUANG et al, 2015).

De acordo com Moschetti (2011), o pavimento de concreto é o mais resistente e com uma vida útil superior as demais alternativas de pavimentação, o sistema utilizado vem ganhando importância e proporcionando mais qualidade e economia de combustível, sendo isso bom para o meio ambiente. Outra vantagem é que este pavimento não sofre deformação plástica, trilhas de rodas e buracos. O pavimento rígido, por ser mais durável, traz baixo custo de manutenção, não necessita de operações tapa-buracos, diminui congestionamento e para quem os utiliza, traz mais segurança na frenagem, é eficiente para evitar aquaplanagem e menor desgaste do veículo.

2.2 CONCRETOS PARA PAVIMENTO RÍGIDO

Segundo DNIT (2004), o concreto destinado à pavimentação rígida é exigido algumas condições especiais que diferem das outras obras como edifícios, pontes entre outras. É necessário que haja resistência à tração, menor variações volumétricas, menor susceptibilidade às fissuras, uma elevada durabilidade as ações do meio ambiente e elevadas resistência às ações abrasivas do tráfego.

Segundo Kim, Ceylan e Gopalakrishnan (2014) o foco das pesquisas em concreto para pavimento são as características de deformação do concreto em idade precoce, pois estas trazem a perda de suavidade do pavimento e as tensões de retração resultam em rachaduras.

Outra causa que tem um impacto significativo no comportamento mecânico do pavimento é a grande variação de temperatura através da espessura das placas. Isso pode produzir ondulações devido à diferença de temperatura da parte superior e inferior devido à expansão ou contração térmica. Essas ondulações tendem a produzir resistência de flexão. (ZOKAEI-ASHTIANI; CARRASCO; NAZARIAN, 2014).

O concreto para pavimentação rígido é constituído basicamente dos seguintes materiais: cimento, agregados, água e aditivos. Mas atualmente são adicionados vários tipos de materiais, com a finalidade de melhorar suas propriedades e aproveitar materiais que são descartados no meio ambiente.

2.2.1 Cimento

O Cimento Portland é um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes e endurece sob a ação da água.

O cimento Portland é composto por clínquer e adições.

O clínquer é componente principal e está presente em todos os tipos de cimento. Ele tem a peculiaridade de desenvolver uma reação química na presença da água, no qual ele primeiramente torna-se pastoso e, em seguida, endurece, adquirindo resistência elevada e durabilidade.

As adições são matérias primas adicionadas na moagem do clínquer que permite a fabricação de diversos tipos de Cimento Portland, elas são: o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP, 2002).

De acordo com DNIT (2004), os tipos de cimentos produzidos por volta dos anos 80 são:

- Cimento Portland comum (CPC) produzido pela moagem conjunta de clínquer e gesso;
- Cimento portland de alta resistência inicial (ARI) que proporcionava elevadas resistências às primeiras idades;

- Cimento portland de alto forno (AF), que continha adição de escória de alto forno;
- Cimento pozolânico (POZ) que era composto por clínquer, gesso, e pozolana, normalmente cinzas volantes de termo elétricas, muito difundido nos estados do Sul.

Atualmente a indústria cimenteira oferece pelo menos onze tipos diferentes de cimento, que podem ser resumidos em (SOUZA; TEMAKI, 2001):

- CP I: Cimento Portland Comum;
- CP I – S: Cimento Portland Comum com Adição;
- CP II – E: Cimento Portland Composto com Escória;
- CP II – Z: Cimento Portland Composto com Pozolana;
- CP II – F: Cimento Portland Composto com Fíler;
- CP III: Cimento Portland de Alto Forno;
- CP IV: Cimento Portland Pozolânico;
- CP V – ARI: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial;
- CP RS: Cimento Portland Resistente a Sulfatos;
- CP BC: Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação;
- CP – B: Cimento Portland Branco.

2.2.2 Agregados

De acordo Santos (2010), agregado é um material granular, utilizado na construção de partículas ligadas ou destinadas a serem ligadas por um aglutinante como: cimento, argamassa ou macadame. Os agregados podem ser natural, artificial ou reciclado.

A origem dos agregados é um fator que influencia o modo de conduzir o estudo e o projeto de construção do pavimento, suas propriedades variam de acordo com cada tipo.

A forma de processamento do agregado é outro fator que influencia na qualidade final do pavimento rígido.

Os agregados naturais são extraídos de jazidas naturais, ou seja, provém de origem natural a partir da decomposição de rochas (ígneas, metamórficas e sedimentares).

Ainda Santos (2010) os agregados artificiais tem sua origem mineral, mas é resultado de processos industriais (exemplos: escórias ou argilas expandidas).

Agregados reciclados são resultados do processamento de minerais anteriormente utilizados em outras atividades. Deve-se fazer uma triagem apropriada e uma adequada seleção no processo de preparação destes agregados.

Os agregados são divididos em grãos e miúdos.

Segundo Pimenta (2012), a areia natural é um agregado miúdo, constituído de misturas de partículas de vários tamanhos e são extraídas dos rios, de cavas e da britagem.

A areia artificial ou areia industrial é um produto derivado da rocha que passa por um processamento de britagem até atingir a granulometria desejada.

De acordo com a NBR 6502 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT, 1995) areia é um solo não coesivo e não plástico formado por minerais e com diâmetro entre 0,06 mm e 2,0mm. De acordo com o diâmetro, as areias classificam-se em: areia fina (0,06mm a 0,2mm), areia média (0,2mm a 0,6mm) e areia grossa (0,6mm a 2,0mm).

O agregado grão pode ser de origem natural, pedregulho ou seixo ou de origem artificial, pela trituração mecânica de rochas, pedra britada e cascalho.

2.2.3 Água

Em muitas especificações fica claro que a água adequada para o amassamento do concreto é a água potável, mas a potabilidade da água não é absoluta, portanto a água potável pode ser imprópria para uso de amassamento de concreto se ela tiver alta concentração de sódio e potássio, pois corre o risco de ocorrer reação álcali-agregado. Em geral a água potável é segura para o uso, mas a água não potável nem sempre é inadequada para o uso.

“Como regra, qualquer água com pH (grau de acidez) entre 6,0 e 8,0 sem sabor salino ou salobro é adequada ao uso, e a coloração escura ou odor não necessariamente implicam em dizer que existem substâncias deletérias. As águas naturais levemente ácidas são inofensivas, mas água que contenham ácido húmico ou outros ácidos orgânicos podem afetar negativamente o endurecimento do concreto. Essas águas, bem como águas altamente alcalinas, devem ser

ensaiadas.” A água adequada para a cura é a mesma satisfatória ao amassamento. (NEVILLE, BROOKS; 2013).

2.2.4 Aditivos

De acordo com Petrucci (1980), os aditivos são adicionados ao concreto com a finalidade de melhorar algumas características. Mas vale ressaltar que o aditivo não corrige defeitos intrínsecos ao concreto proveniente de dosagem e aplicação incorreta.

Os aditivos são classificados em: plastificantes, incorporadores de ar, produtos de cura, dispersores, impermeabilizantes e produtores de gás ou espuma.

De acordo com Pimenta (2012) os aditivos são utilizados para melhoria das condições de trabalhabilidade, na diminuição da retração e da permeabilidade, no aumento da resistência mecânica e durabilidade do concreto.

2.2.5 Propriedades do concreto no estado fresco

As propriedades do concreto fresco são: Tempo de pega; Trabalhabilidade, Segregação e Exsudação.

Tempo de pega do concreto é a reação entre o cimento e a água. O início de pega é o aumento brusco da viscosidade não podendo o concreto fresco ser misturado, lançado e compactado. E o fim de pega é o tempo após o qual se inicia o desenvolvimento da resistência, no qual a massa se torna um bloco rígido não sendo mais deformável para cargas pequenas (METHA; MONTEIRO, 1994).

A Trabalhabilidade é o esforço necessário para manipular a massa de concreto com perda mínima de homogeneidade. (NEVILLE, 1997).

A segregação consistente na separação dos constituintes da mistura, ela geralmente ocorre de uma vibração excessiva, tornando o concreto mais fraco e sem uniformidade.

A Exsudação é a tendência da água de amassamento vir à superfície. A parte superior do concreto recém-lançado torna-se excessivamente úmida, produzindo um concreto menos resistente e poroso (ALMEIDA, 2002).

2.2.6 Propriedades do concreto no estado endurecido

Existem várias propriedades do concreto endurecido, mas neste presente trabalho serão abordadas somente aquelas voltadas ao estudo. Estas são: Resistência à compressão axial, Resistência à tração na flexão e Módulo de Elasticidade.

A resistência à compressão axial é aceita universalmente como um índice geral da resistência do concreto, porque sua determinação é simples e fundamental dentre as outras propriedades mecânicas do concreto como Módulo de elasticidade, impermeabilidade e durabilidade estão diretamente relacionadas com essa resistência (METHA, 1996 citado por MARTINS, 2005).

Resistência à tração na flexão é a tensão de ruptura por tração no ensaio de flexão de viga de concreto simples, com três ou quatro pontos de apoio para a ruptura da mesma (ALMEIDA, 2002).

O Módulo de elasticidade é definido entre a relação da tensão aplicada e a deformação instantânea. A tensão é acompanhada da deformação, quando aplicada e retirada surgem deformações lineares com a tensão que desaparecem, esse comportamento é considerado elástico. (NEVILLE, 1997)

O conceito elasticidade é aplicado a materiais que geralmente possuam comportamento linear, porém isso acontece para pequenas tensões, a partir de 50% das tensões aplicadas este conceito de linearidade pode não ser mais verdade. Para o concreto, o comportamento de linearidade deixa de ser um pouco antes dos 50% da última carga, comportamento este explicado por estudos sobre o processo de micro fissuração progressiva do concreto sob cargas. (MELO NETO; HELENE, 2002).

2.3 CONCRETO MODIFICADO COM LÁTEX

2.3.1 Látex

De acordo com Canevarolo e Sebastião (2002) o primeiro contato que o homem teve com materiais resinosos, graxas extraídas ou refinadas, foi na Antiguidade pelos egípcios e romanos.

O primeiro contato com o produto extraído da seringueira foi no século XVI, pelos espanhóis e portugueses, um produto de coagulação e secagem do látex, que apresentava características de elasticidade e flexibilidade desconhecidas que até então recebeu o nome de borracha, pela sua capacidade de apagar marcas de lápis. Sua utilização foi restrita até a descoberta da vulcanização em 1839 por Charles Goodyear. Em 1846, Christian Schiönbien, tratou o algodão com ácido nítrico, que deu origem a nitrocelulose, primeiro polímero semissintético. O primeiro polímero sintético foi produzido em 1912 por Leo Baekeland.

O polímero é uma macromolécula constituída por muitas unidades de repetições denominadas meros e, a matéria prima para a produção do polímero é o monômero, uma molécula para uma unidade de repetição.

Látex são partículas de polímeros orgânicos dispersos em água, um fluído leitoso com coloração branca e pode ter uma consistência pouco ou muito viscosa.

O látex é um produto natural obtido da seringueira, a espécie de árvore *hevea brasiliensis* produz o látex de borracha natural (WALTERS 1988, citado por BALLISTA, 2003).

Existe numerosas espécies botânicas que produzem látex, mas só a espécie *hevea brasiliensis* que produz látex de qualidade e em condições econômicas (ADIWILAGA; KUSH, 1996).

O látex pode ser natural ou sintético, utilizado em forma de pós redispersíveis ou em emulsões, formando dispersões estáveis de micropartículas poliméricas em um meio aquoso, e após a secagem resulta em um filme com características ligantes, impermeáveis à água e elevada resistência mecânica. (OHAMA, 1995).

No mercado existem vários tipos de látex, aproximadamente 5% deles podem ser utilizados como aglomerante hidráulico e os outros 95% podem coagular quando combinados com cimento. (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995). Na Figura 1 são apresentados os vários tipos de látex, os em destaque são os mais utilizados.

Figura 1 - Principais látex

Fonte: Ballista (2003).

Os látex utilizados com aglomerantes hidráulicos são produzidos por um processo chamado polimerização de emulsão, este processo envolve a mistura de água com monômero, surfactantes (estabilizadores) e catalisadores.

A mistura é colocada num reator sob agitação, onde é controlada a temperatura e a quantidade de catalisador, esse tipo de reação normalmente é levado à conversão de 90% a 99% de monômero em polímero.

Em outro processo de polimerização, o polímero é formado disperso em água através de surfactantes.

Os pós são fabricados utilizando dois processos separados. O polímero é preparado pelo processo de polimerização por emulsão e então seco por pulverização até obter o pó.

O látex é dividido em três classes: Aniônico, catiônico e não – iônicos.

O látex utilizado com Cimento Portland é estabilizado com surfactante não – iônico, os que são estabilizados com surfactante aniônico e catiônico não são adequados a serem utilizados com aglomerante hidráulico devido à falta de estabilização.(AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1995).

Em muitas pesquisas observa que o látex SBR (Látex Estireno Butadieno) é o mais utilizado nas pesquisas aplicadas em concreto. Esse látex é gerado por processo de polimerização.

2.3.2 Concreto com látex

De acordo com Pimentel (2005), o concreto modificado com látex surgiu na Inglaterra, no ano de 1923, com adição de borracha natural ao concreto, aplicado em calçamentos. Nos anos 20 apareceram as primeiras publicações usando a borracha natural. Nos anos 30, iniciou o uso do látex sintético e o látex de acetato de polivinila. E a partir da década de 40 foram surgindo novos polímeros até os dias de hoje.

De acordo com Palhares, Brasil e Costa (2015), existem três classes de concreto que utilizam polímeros: concreto impregnado por polímero, concreto modificado por polímero e o concreto polímero.

Concreto impregnado por polímero: Após o endurecimento, o concreto recebe impregnação de resina polimérica, onde o polímero preencherá plenamente os vazios interno do mesmo, por isso deve-se submeter o concreto a secagem para a remoção da água livre, aplicação de vácuo para retirada de ar. Suas características mecânicas apresentaram melhorias.

Concreto modificado por polímero: É a adição de um polímero empregado na forma de dispersão em água, à mistura do concreto no seu estado fresco, ele não substitui o concreto, a composição é formada por dois aglomerantes. Ele proporciona aumento na trabalhabilidade devido às moléculas esféricas de polímero e o ar incorporado faz com que a resistência mecânica, entre os agregados no estado fresco, diminua, por isso deve ser monitorado. Seu tempo de pega é o mesmo ou maior que o convencional e sua resistência à compressão apresenta aumento significativo devido à redução de água de amassamento. Reduz a permeabilidade e possui altíssima oposição à carbonatação devido ao preenchimento dos poros por polímeros.

Concreto polímero: É a mistura de agregados com um polímero, como único aglomerante, não contém cimento, porém seu custo é mais elevado, então sua aplicação só é economicamente mais vantajosa onde o concreto com cimento não consegue suprir as necessidades. Algumas de suas aplicações são: Tubo para esgoto e resíduos industriais, Pavimento de autoestrada, Painéis de vedação, Formas pré-fabricadas para estrutura de concreto convencional e Poste de transmissão elétrica. Suas características mecânicas são semelhantes ao do concreto convencional, mas com aplicações diferentes.

Segundo Daou e Assaad (2016) látex poliméricos são amplamente utilizados em materiais cimentantes para aumentar a aderência e a ligação de vários substratos.

No setor da construção civil é comum à adição de látex polimérico em argamassas para reparo, chapisco de alto desempenho e acabamento de fachadas, que auxiliam no desempenho do estado fresco e endurecido do concreto (CARBONE, et al., 2013).

O uso do látex polimérico retarda a hidratação do cimento e aumenta o teor de ar incorporado na massa, devido à presença de tensoativos presentes na composição do látex. Esses fatores podem afetar as propriedades no estado endurecido (JINGANG et al., 2005; MERLIN et al., 2005).

Knapen (2007) aborda que nas primeiras idades há retardo de hidratação do cimento e não há coalescência do látex, isso diminui a resistência do concreto, mas em idades avançadas essa tendência é invertida, porque com o passar do tempo a reação do cimento continua ocorrendo e a coalescência do látex é favorecida, formando um filme polimérico com a secagem da amostra, gerando uma sinergia positiva entre ambos os efeitos, o que aumenta a resistência.

Muitas pesquisas com látex, aplicados em concreto são combinadas com outros componentes para melhoria de suas propriedades. Ballista (2003) combinou o látex (SRB) estireno-butadieno com agregado reciclado, analisou três traços diferentes com porcentagens de 10%, 20% e 30% de látex substituído na água de amassamento, manteve a mesma relação água/cimento e analisou diferentes tempos de cura. Os corpos de prova permaneceram nas formas por 1 dia e, após a desforma, foram submetidos à diferentes formas de cura. Os ensaios foram realizados com 28 dias após a moldagem. Em sua pesquisa verificou-se que essa combinação obteve um melhor resultado com a relação de 10% aplicado nos três traços, essa foi a porcentagem de látex que promoveu maiores resistência na compressão axial e diametral, com o processo de cura de 1 dia na forma, 6 dias de cura úmida e 21 dias de cura ao ar. Porém as porcentagens de 20% e 30% não podem ser descartadas, pois elas obtiveram um aumento de trabalhabilidade dos concretos mesmo não tendo aumento de resistência.

Huang et al. (2009), fizeram outra pesquisa laboratorial usando látex estireno butadieno no Concreto de Cimento Portland Permeável, muito usado no Japão e nos Estados Unidos. Esse tipo de concreto tem suas vantagens ambientais, que é a

drenagem da água por seus poros e a distribuição acústica de ruído e sua desvantagem que é a falta de resistência, por isso esse tipo de concreto é somente aplicado em calçadas e estacionamentos. Para melhorar suas propriedades, os autores desenvolveram um Concreto Permeável com Polímero. Foram combinados nesse estudo três tipos de dimensões de agregados graúdos, a borracha de látex estireno butadieno (usando polimerização de solução aniônica), com fibra de polipropileno para evitar fissuras. O Látex usado foi para substituir 10% do peso do cimento, a areia para substituir 7% do peso do agregado graúdo e $0,9 \text{ kg/m}^3$ de fibra de polipropileno, procurou-se manter sua permeabilidade e porosidade.

Os resultados dos testes mostraram que a permeabilidade manteve valores estáveis e a porosidade também. A mistura com látex, areia e o agregado graúdo com menor dimensão obteve melhor resultado para a resistência à compressão, 15 MPa, em relação ao concreto de referência, 6,8 MPa. O acréscimo da fibra baixou essa resistência para 13 MPa. A força de tração também obteve melhora com a adição do látex, em relação ao concreto de referência, também com o mesmo agregado de menor dimensão. De 1,1 MPa apresentado pelo concreto de referência, para 1,52 MPa ao adicionar o látex. A mistura com a fibra, areia e o látex não apresentou melhora. Esses ensaios foram realizados com 7 dias de cura do concreto.

3.MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados neste trabalho para a confecção dos traços de concreto foram:

Cimento Portland;

Agregado Miúdo;

Agregado Graúdo;

Água;

Látex.

Todos os materiais foram obtidos comercialmente.

3.1.1 Aglomerante

O Aglomerante utilizado na pesquisa foi o cimento Portland CPII-E-32, marca CAUÊ e CP V ARI marca Votoran cujo suas especificações seguem na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades físicas e mecânicas do cimento empregado.

Idades	Resistência à Compressão (MPa)			Blaine (cm ² /g)	Início de pega (h)	Fim de pega (h)	Teor de Escória (%)
	3d	7d	28d				
CP E 32	≥10	≥20	≥32	≥2600	≥1	≤10	6 - 34
CP V ARI	≥24	≥34	-	≥3000	≥1	≤10	-

Fonte: Fabricante

3.1.2 Agregados

O agregado miúdo utilizado foi areia natural grossa, obtida pelo Porto de areia Salione localizado na cidade de São José do Rio Preto e areia natural fina obtida no Porto de areia de Castilho. O Agregado graúdo foi a brita 9,5/25,0, de basalto, também fornecida pelo Porto de areia Salione e no Porto de areia de Andradina, suas classificações foram realizadas conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003) esta

norma especifica a classificação granulométrica do agregado graúdo e miúdo para concreto.

3.1.2.1 Agregado miúdo

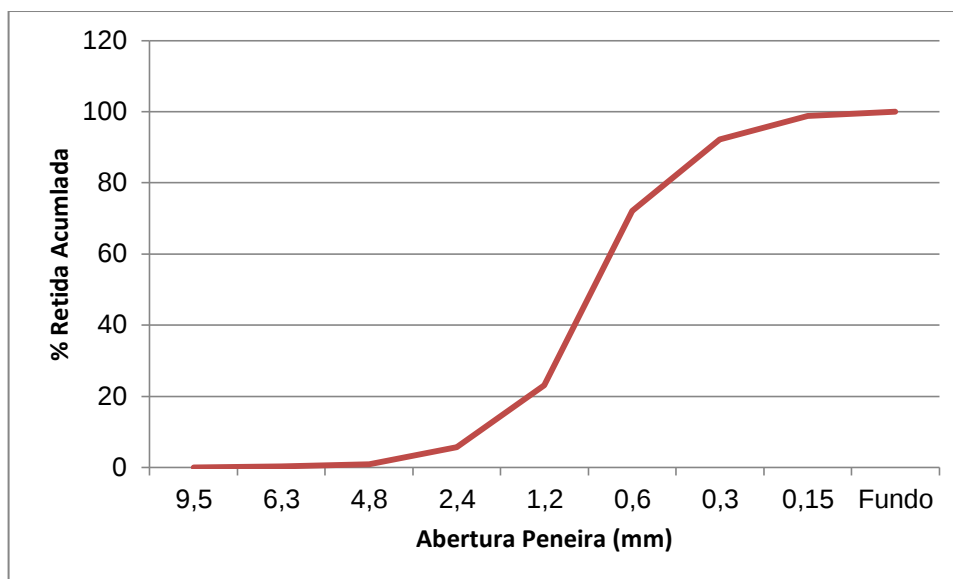
A Composição granulométrica do agregado miúdo (Porto de areia Salione em São José do Rio Preto) foi obtida conforme prescrito na norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). O ensaio de granulometria está apresentado na Tabela 2, onde se pode ver o valor da massa retida da amostra e a porcentagem retida e acumulada desta amostra.

Tabela 2 - Ensaio de granulometria do agregado miúdo (Porto de areia Salione)

Peneira (mm)	Massa (g)	Massa	
		% retida	% Acum.
9,5	0	0	0
6,3	4,10	0,31	0,31
4,8	6,90	0,52	0,83
2,4	64,25	4,86	5,69
1,2	229,45	17,35	23,04
0,6	649,50	49,11	72,15
0,3	265,85	20,10	92,25
0,15	86,20	6,52	98,77
Fundo	16,30	1,23	100,00
Total	1322,55	100,00	
Dimensão Máxima Característica = 4,8mm			
Módulo de Finura = 2,93mm			

Fonte: Próprio autor

Na Figura 2 é ilustrada a curva granulométrica do agregado miúdo obtido no Porto de areia Salione.

Figura 2 - Curva granulométrica do agregado miúdo (Porto de areia Salione)

Fonte: Próprio autor

A Tabela 3 apresenta o valor da massa específica do agregado miúdo obtido no Porto de areia Salione.

Tabela 3 - Propriedade física do agregado miúdo (Porto de areia Salione)

Propriedade	Amostra
Massa Específica	2,00 g/cm ³

Fonte: Próprio autor

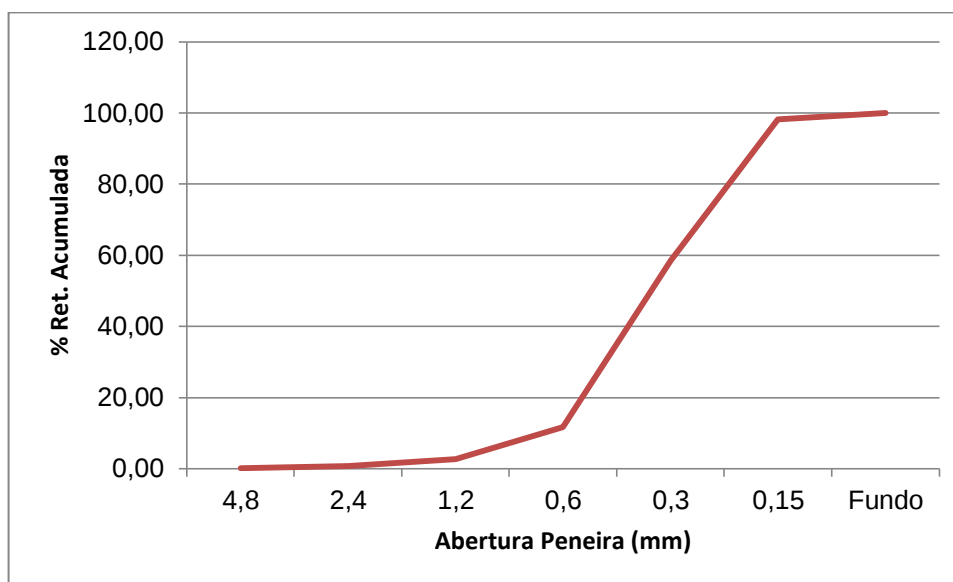
A obtenção da composição granulométrica do agregado miúdo obtido no Porto de areia de Castilho também seguiu a norma NBR NM 248 (2003). Na Tabela 4 estão apresentados os resultados do ensaio de granulometria.

Tabela 4 - Ensaio de granulometria do agregado miúdo (Porto de areia de Castilho)

Peneira (mm)	Massa (g)	Massa	
		% retida	% Acum.
4,8	1,72	0,17	0,17
2,4	5,87	0,59	0,76
1,2	19,63	1,97	2,73
0,6	88,8	8,89	11,62
0,3	468,4	46,90	58,52
0,15	395,6	39,61	98,13
Fundo	18,7	1,87	100,00
Total	998,72	100,00	
Dimensão Máxima Característica = 1,2mm			
Módulo de Finura = 1,71mm			

Fonte: Próprio autor

Na Figura 3 é ilustrada a curva granulométrica do agregado miúdo obtido no Porto de areia de Castilho.

Figura 3 - Curva granulométrica do agregado miúdo (Porto de areia de Castilho)

Fonte: Próprio autor

A Tabela 5 apresenta o valor da massa específica do agregado miúdo obtido no Porto de areia de Castilho.

Tabela 5 - Propriedade física do agregado miúdo (Porto de areia de Castilho)

Propriedade	Amostra
Massa Específica	2,66 g/cm ³

Fonte: Próprio autor

3.1.2.2 Agregado graúdo

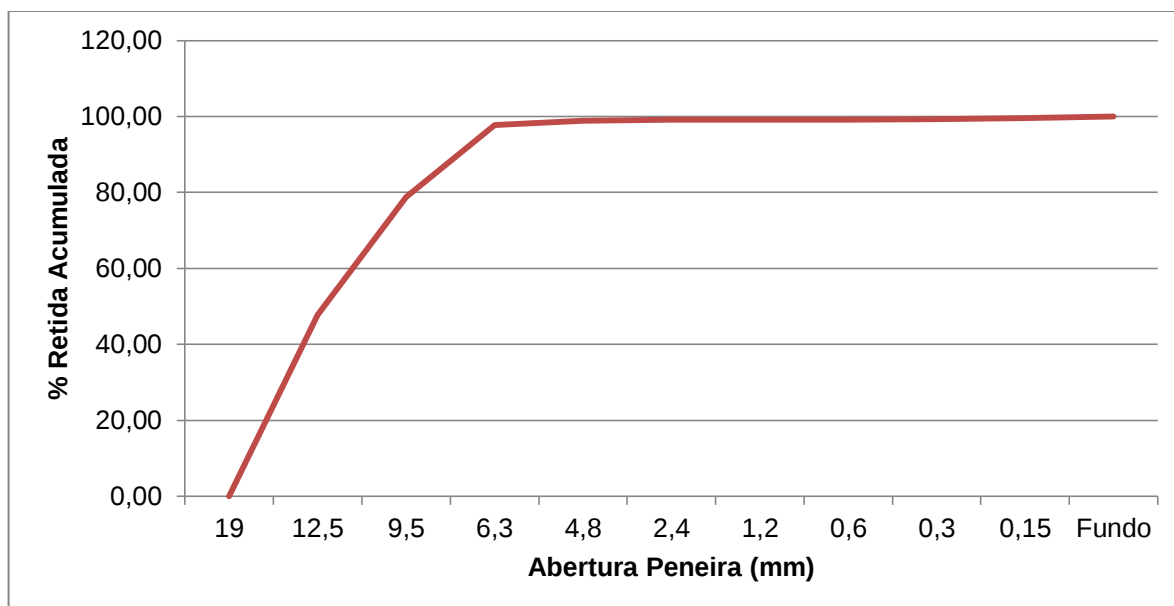
A Composição granulométrica do agregado graúdo (Porto de areia Salione em São José do Rio Preto) foi obtida conforme prescrito na norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). O ensaio de granulometria está apresentado na Tabela 6, onde se pode ver a massa retida da amostra e a porcentagem retida e acumulada desta amostra.

Tabela 6 - Ensaio de granulometria do agregado graúdo (Porto de areia Salione)

Peneira (mm)	Massa (g)	Massa	
		% retida	% Acum.
19	5,00	0,10	0,10
12,5	2433,00	47,74	47,84
9,5	1580,00	31,00	78,85
6,3	965,00	18,94	97,78
4,8	55,00	1,08	98,86
2,4	12,00	0,24	99,10
1,2	1,00	0,02	99,12
0,6	2,00	0,04	99,16
0,3	9,00	0,18	99,33
0,15	16,00	0,31	99,65
Fundo	18,00	0,35	100,00
Total	5096,00	100,00	
Dimensão Máxima Característica = 19mm			
Classificação = 9,5/25			

Fonte: Próprio autor

Na Figura 4 é ilustrada a curva granulométrica do agregado graúdo obtido no Porto de areia Salione.

Figura 4 - Curva granulométrica do agregado graúdo (Porto de areia Salione)

Fonte: Próprio autor

A Tabela 7 apresenta o valor da massa específica e da massa unitária compactada do agregado graúdo obtido no Porto de areia Salione.

Tabela 7 - Propriedade física do agregado graúdo (Porto de areia Salione)

Propriedade	Amostra
Massa Específica	2,89 g/cm ³
Massa Unitária Compactada	1,670g/m ³

Fonte: Próprio autor

Composição granulométrica do agregado miúdo obtido no Porto de areia de Andradina, também segue a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). Na Tabela 8 seguem os resultados do ensaio de granulometria.

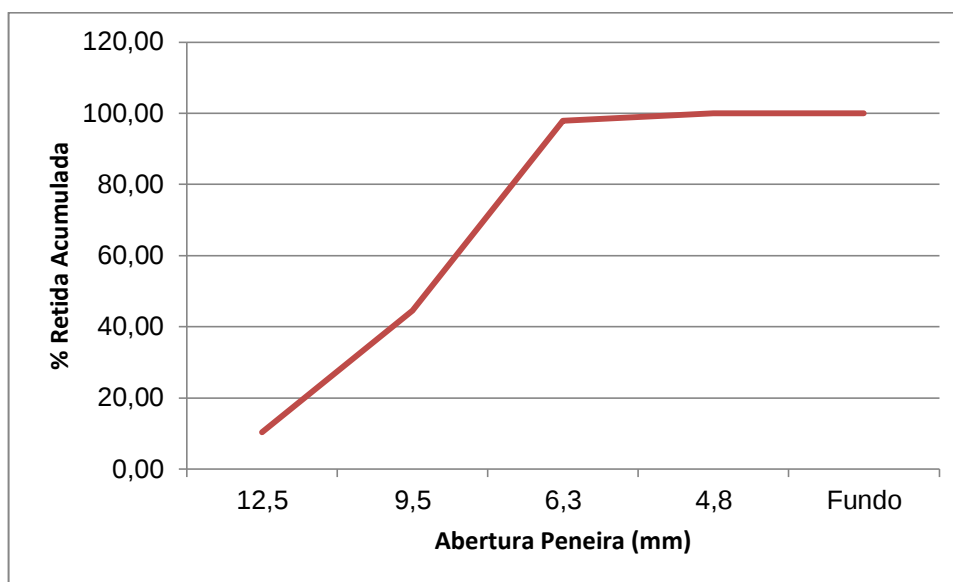
Tabela 8 - Ensaio de granulometria do agregado graúdo (Porto de areia de Andradina)

Peneira (mm)	Massa (g)	Massa	
		% retida	% Acum.
12,5	630	10,35	10,35
9,5	2075	34,10	44,45
6,3	3255	53,49	97,95
4,8	125	2,05	100,00
Total	6085	100	
Dimensão Máxima Característica = 12,5mm			
Classificação = Brita 9,5/25,00			

Fonte: Próprio autor

Na Figura 5 é ilustrada a curva granulométrica do agregado graúdo obtido no Porto de areia de Andradina.

Figura 5 - Curva granulométrica do agregado graúdo (Porto de areia de Andradina)



Fonte: Próprio autor

A Tabela 9 apresenta o valor da massa específica e da massa unitária compactada do agregado graúdo obtido no Porto de areia de Andradina.

Tabela 9 - Propriedade física do agregado graúdo (Porto de areia de Andradina)

Propriedade	Amostra
Massa Específica	2,91 g/cm ³
Massa Unitária Compactada	1,690g/m ³

Fonte: Próprio autor

3.1.3 Água

A água de amassamento do concreto é fornecida pela prefeitura de São José do Rio Preto e de Ilha Solteira.

3.1.4 Látex

O látex natural (com amônia) foi fornecido pela empresa Capi Engenharia de São José do Rio Preto e látex natural (sem amônia) pelo seringal da cidade de Palestina.

O látex sintético é uma emulsão de polímero estireno-butadieno, denominado SBR e aditivos especiais (chapix SBR) da marca quartzolit, obtido comercialmente.

No catálogo do fabricante consta que o produto é desenvolvido para proporcionar melhor aderência de argamassas e chapisco, reduz a fissuração em argamassas de revestimento, diminui a retração, a permeabilidade, resistente à umidade e aumenta a coesão das argamassas.

As propriedades do látex empregado são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Propriedades e composição química do látex sintético

Aspecto	Líquido branco leitoso
Massa Específica	1,05 kg/dm ³
ph	Alcalino

Fonte: Weber Saint – Gobain produtos quartzolit

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Granulometria e módulo de finura dos agregados.

O Ensaio de classificação granulométrica dos agregados foi realizado através do conjunto de peneiras sucessivas conforme a NM ISO 3310 (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE NORMALIZAÇÃO- ISO, 2010). As amostras foram coletadas conforme NM 26 (ABNT, 2009) e separadas em dois recipientes metálicos, após a separação foram secadas em estufa e resfriadas em temperatura ambiente.

As peneiras estavam limpas e inspecionadas, estas foram encaixadas sobre o agitador mecânico, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo, de forma a ser um único conjunto.

Com as peneiras encaixadas colocou-se a amostra distribuindo o material na peneira adequadamente e agitou-se por sete minutos, com agitação mecânica, destacam-se as peneiras e fez-se a agitação manual por um minuto com movimento circulares. Em seguida foram separados os materiais retidos em recipientes conforme a abertura das peneiras e pesados.

Após as respectivas massas retidas foram calculados os percentuais de massa em cada peneira, a média retida e acumulada, o módulo de finura e a dimensão máxima característica.

O módulo de finura é a soma das porcentagens retidas acumulados em massa de um agregado nas peneiras de série normal dividido por 100, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

A dimensão máxima característica corresponde à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira de série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta porcentagem retida acumulada menor ou igual a 5% em massa, conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Após a distribuição granulométrica dos agregados miúdos e graúdos conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003) devem atender os limites estabelecidos na norma NBR 7211(ABNT, 2009).

3.2.2 Determinação da massa específica do agregado miúdo

De acordo com a NBR NM 52 (ABNT, 2009), a massa específica é a relação entre a massa do agregado seco com seu volume excluindo os poros permeáveis, e à massa específica aparente incluem-se os poros permeáveis.

A amostra deve ser coletada de acordo com a NM 26 (ABNT, 2001) e reduzida de acordo com a NM 27 (ABNT, 2001).

Para a execução do ensaio coletou-se 1 kg de amostra que foi colocada na bandeja metálica e deixada para secar em estufa por 24 horas, após este processo, pesou-se 500 g de amostra, colocando-a no frasco aferido, e em seguida encheu-se o frasco com água até próximo à marca de 500 ml, moveu-se o frasco com movimentos circulares para eliminar as bolhas de ar e depois foi deixado em repouso por aproximadamente 1 hora para que toda água que se encontrava presa na parede do frasco escoasse e se obtivesse a marcação correta, quando necessário completou-se com água até a marcação.

A determinação do agregado miúdo é obtida através da equação 01:

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}} \quad (01)$$

Onde:

d_3 = Massa específica do agregado (g/cm³);

V = Volume do frasco (cm³);

V_a = Volume de água adicionado ao frasco (cm³);

m_s = Massa da amostra na condição saturada superfície seca (g);

ρ_a = Massa específica da água (g/cm³).

m = Massa amostra seca (g).

3.2.3 Determinação da massa específica do agregado gráúdo

A Massa específica é a relação entre a massa com o volume conforme NBR NM 52 (ABNT, 2009) e NBR NM 53 (ABNT, 2009).

Os agregados cujos grãos ficam retidos, em sua maior parte, na peneira com abertura de 4,75 mm, são classificados como agregado gráúdo.

Para a realização do ensaio foi necessário determinar a massa mínima de acordo com a dimensão máxima característica do agregado.

Eliminou-se todo o material que passa na peneira 4,75 mm por via seca, exceto quando os agregados contêm mais de 2% de material que passa na referida peneira. O agregado gráúdo foi lavado para remover o pó ou outro material da superfície. Secou a amostra em massa constante a uma temperatura de (105 +/- 5) °C, após este processo, esfriou à temperatura ambiente até que fosse possível manuseá-la, e pesá-la a fim de medir a massa, na quantidade estipulada pela NBR NM 52 (ABNT, 2009) conforme o tamanho máximo do grão. A seguir, colocou-a no cesto de arame com abertura de malha igual ou inferior a 3,35 mm, e com capacidade de 4 dm³ a 7 dm³ para agregados com dimensão máxima de 37,5 mm, para dimensão maior será necessário recipiente de maior capacidade. Na sequência submergiu a amostra em um tanque com água a uma temperatura ambiente por um período de 24 horas. Retirou a amostra da água e envolveu em um pano absorvente até que toda água visível fosse eliminada. Após a secagem da água superficial da amostra, a massa foi medida imediatamente para evitar a evaporação, colocou-se a amostra novamente no cesto, esta submergiu na água e foi medida a massa submersa.

Para os cálculos da massa específica segue a equação 02. Para dosagem de concreto, a massa específica calculada do agregado está na condição saturado de superfície seca.

$$d_s = \frac{m_s}{m_s - m_a} \quad (02)$$

d_s = Massa específica do agregado na condição saturado superfície seca (g/m³);

m_s = massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca (g);

m_a = massa em água da amostra (g).

3.2.4 Determinação da massa unitária e do volume de vazios

A ABNT NM 45 (ABNT, 2006), estabelece a determinação da densidade a granel e do volume de vazios de agregados miúdos, graúdos ou a mistura dos dois no estado compactado ou solto.

Utilizou-se recipiente de forma cilíndrica de material não atacável pela umidade, rígido e com alças definido pela norma.

Primeiramente foi medida a massa do recipiente vazio e registrada. Na sequência, encheu o recipiente com o agregado e nivelou a superfície com os dedos. Depois com a haste de adensamento socou uniformemente com 25 golpes o material evitando que a haste tocasse no fundo do recipiente. Continuou o enchimento até completar dois terços de sua capacidade e efetuou o mesmo processo de adensamento sempre evitando que a haste penetre na camada anterior. Finalmente encheu a última camada, nivelou com a mão e rasou com uma espátula, pesou e registrou a massa do recipiente. A massa unitária foi calculada de acordo com a equação 03.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (03)$$

ρ_{ap} = massa unitária do agregado (kg/m³);

m_{ar} = massa do recipiente mais o agregado (kg);

m_r = massa do recipiente vazio (Kg);

V = Volume do recipiente (m³).

3.2.5 Determinação da dosagem

Para a determinação da dosagem dos traços experimentais foram adotados os requisitos do (DNIT, 2004). Segundo DNIT (2004), o concreto empregado para execução de pavimento deve apresentar as seguintes características:

- Resistência à tração na flexão mínima de 4,5 MPa;
- Resistência à compressão que geralmente é de 30 MPa;
- Consumo de cimento de 320 kg/m³;

- Relação água/cimento 0,40 a 0,56;
- Dimensão máxima do agregado graúdo 1/5 a 1/4 da espessura da placa e nunca superior a 50 mm;
- Abatimento em torno de 7 cm
- Teor de argamassa entre 44% a 50%.

Para a determinação da dosagem dos traços experimentais foram adotados os requisitos do (DNIT, 2004).

O método utilizado na dosagem é o da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) (AMBROZEWICZ, 2012).

Este método foi criado na década dos anos 80, é adaptado do método ACI (American Concrete Institute), para agregados brasileiros. O método exige conhecimento das características dos materiais, como:

Cimento: Tipo, Massa específica e Resistência do cimento aos 28 dias.

Agregados: Análise granulométrica, Módulo de finura do agregado miúdo, Dimensão máxima do agregado graúdo, Massa específica e Massa unitária compactada.

Concreto: Consistência desejada no estado fresco, Condições de exposição e Resistência de dosagem do concreto.

A dosagem do concreto é realizada utilizando a resistência que deve ser adotada para especificar a resistência à compressão desejada, de acordo com a equação 04.

$$F_{c28} = f_{ck} + 1,65 \cdot Sd \quad (04)$$

F_{c28} = Resistência à compressão do concreto aos 28 dias.

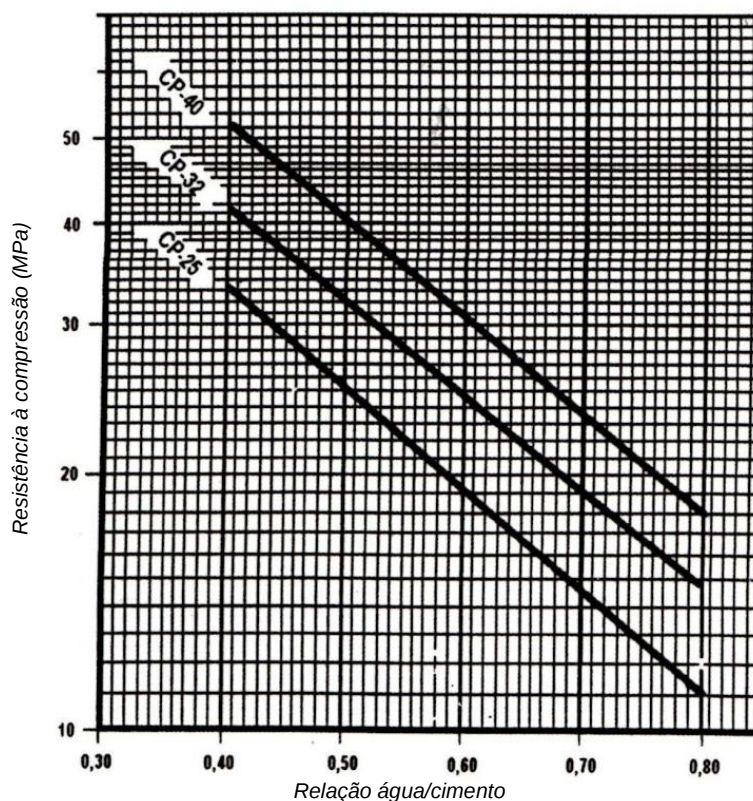
f_{ck} = Resistência característica à compressão do concreto.

Sd = Desvio padrão da dosagem.

O desvio padrão é adotado de acordo com a condição de preparo, especificado na NBR12655 (ABNT, 2015).

Para determinar a dosagem de acordo com o método seguem-se as etapas:

- 1) Fixa a relação água/cimento, para isso utiliza o gráfico da curva de Abrams do cimento (requer conhecimento do tipo de cimento e a resistência de dosagem requerida), como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Curva de Abrams do cimento

Fonte: Ambrozewicz (2012).

- 2) Determina o consumo aproximado de água no concreto, de acordo com a Tabela 11 (deve-se conhecer a dimensão máxima característica do agregado gráudo e a consistência desejada).

Tabela 11 – Determinação aproximada do consumo de água

Consumo de água aproximado (l/m³)					
Abatimento (mm)	Dmax agregado gráudo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: Ambrozewicz (2012).

- 3) Com esses dados determina o consumo de cimento que é a relação entre o consumo de água e a relação água cimento.
- 4) Determina-se o consumo de agregados. Para isso é necessário conhecer a dimensão máxima característica do agregado gráudo e o módulo de

finura do agregado miúdo. Com esses dados obtém o volume compactado do agregado em m³ de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12 – Consumo de agregado graúdo (m³)

MF	Dimensão Máxima (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,80	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,00	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,20	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,40	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,60	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,80	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,00	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,20	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,40	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,60	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Ambrozewicz (2012).

O consumo do agregado graúdo é o produto entre o volume compactado (m³) (Tabela 12) pela massa unitária compactada (kg/m³).

O consumo do agregado miúdo obtido de acordo com a equação 05 e 06.

$$V_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_{cim}} + \frac{C_b}{\gamma_{brita}} + \frac{C_a}{\gamma_{agua}} \right) \quad (05)$$

$$C_{areia} = V_m \times \gamma_{areia} \quad (06)$$

C_c = Consumo de cimento (Kg)

C_b = Consumo de brita (Kg)

C_a = Consumo de água (l)

C_{areia} = Consumo de areia (Kg)

V_m = Volume da areia (m³)

γ_{cim} = Massa específica do cimento (Kg/m³)

γ_{brita} = Massa específica da brita (Kg/m³)

γ_{agua} = Massa específica da água (Kg/m³)

γ_{areia} = Massa específica da areia (Kg/m³)

- 5) Por fim obtém o traço dividindo-se todas as massas obtidas pela massa do cimento.

Essa é a ordem para a apresentação do traço em massa.

Cimento : areia : brita : a/c

3.2.6 Moldagem, capeamento e cura.

A moldagem dos corpos de prova foi executada conforme NBR 5738 (ABNT, 2016). Antes de iniciar a moldagem foi feito o ensaio de abatimento de cone. Os corpos de prova utilizados nos ensaios foram os cilíndricos e prismáticos. Eles possuem dimensões de acordo com a norma, cilíndrico com diâmetro de 10cm e altura de 20cm, os moldes prismáticos tem uma seção transversal de 15cm x 15cm com comprimento de 45cm. Os moldes foram feitos em aço e Policloreto de Polivinila (PVC).

Antes de colocar o concreto nas formas foi adicionada uma camada de óleo para não grudar o concreto. O local foi nivelado com areia fina.

A deposição do concreto nos moldes cilíndricos deve ser realizada conforme a norma, ou seja, em duas camadas com 15 golpes cada e, para finalizar faz-se uma vibração manual ou mecânica para um melhor adensamento. Nos moldes prismáticos também deve ser em 2 camadas, com 75 golpes distribuídos e finalizando o adensamento com vibração manual ou mecânica.

Os corpos de prova ficam na forma por 24 horas, após este período são desformados e reservados em câmara úmida até a realização dos respectivos ensaios.

Antes da inicialização dos ensaios eles ainda precisam ser capeados ou retificados para uma melhor uniformização da superfície, a fim de não haver influência das medidas. Outra opção para tirar o efeito da não planicidade do corpo de prova é usar uma placa de compensado nas dimensões 12 x 12 x 0,9 (cm) na base e no topo do corpo de prova cilíndrico. As Figuras 7 e 8 apresentam os corpos de prova utilizados.

Figura 7 - Molde corpo de prova cilíndrico



Fonte: Próprio autor

Figura 8 - Molde corpo de prova prismático



Fonte: Próprio autor

3.2.7 Ensaio do concreto no estado fresco

3.2.7.1 Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone

Para realização desse ensaio foi consultado a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998), a qual especifica um método para determinar a consistência do concreto fresco através da medida de seu assentamento. O molde aplicável a esse ensaio é cônico feito de metal com espessura igual ou superior a 1,5 mm e tem a forma de um tronco de cone oco, o diâmetro da base inferior possui 200 mm, o da base superior possui 100 mm e altura 300 mm, com duas alças posicionadas a dois terços desta e aletas na base maior para apoio dos pés. A haste de compactação tem seção circular reta, feita de aço. A placa de base deve ser metálica, plana, quadrada ou retangular.

Para o procedimento do ensaio é necessário umedecer o molde, a placa e a haste e colocar o molde sobre a placa. O preenchimento do molde deve ser feito em 3 camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do cone. Cada camada deve ser compactada com 25 golpes, ao final da última camada se necessário preencher com mais concreto e rasar com uma desempenadeira. Retirar o molde do concreto e medir o abatimento do concreto determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova. Essa altura é o adensamento do concreto. Na Figura 9 é possível visualizar uma medida obtida no ensaio.

Figura 9 - Ensaio de abatimento



Fonte: próprio autor

3.2.8 Ensaio mecânicos do concreto no estado endurecido

Para realização dos ensaios mecânicos de resistência à compressão axial e módulo de elasticidade foi utilizada a máquina de ensaio EMIC modelo PC200 capacidade para 200 toneladas apresentada na Figura 10. Para o ensaio de resistência à tração foi utilizada a máquina universal Marca Heckert com capacidade para 100 toneladas apresentada na Figura 11. As mesmas atendem às especificações da norma ANT NBR ISO7500-1 (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE NORMALIZAÇÃO, 2016).

Figura 10 - Máquina de ensaio mecânico à compressão e módulo de elasticidade



Fonte: Próprio autor

Figura 11 - Máquina de ensaio mecânico à tração na flexão



Fonte: Próprio autor

3.2.8.1 Ensaio de compressão à resistência axial

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado conforme a norma NBR 5739 (ABNT, 2007). Os corpos de prova foram rompidos aos 7 e 28 dias, a partir da data de moldagem, a fim de determinar a carga de ruptura.

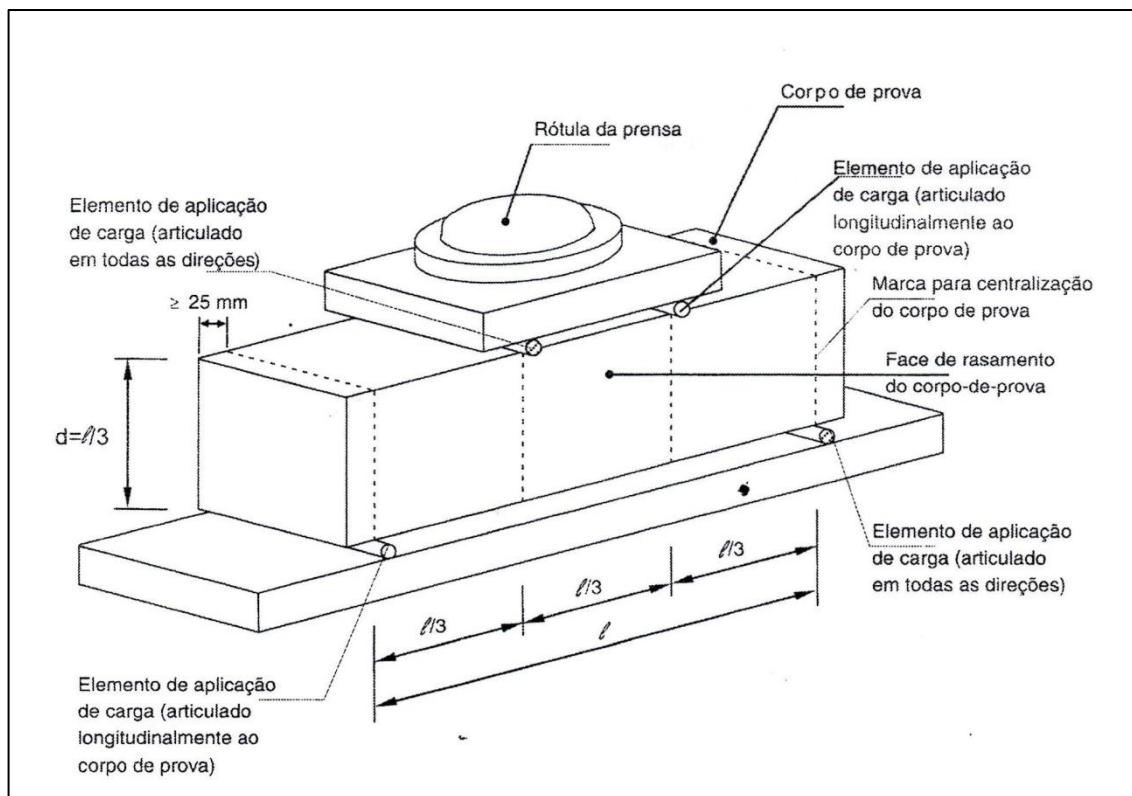
Antes de iniciar a realização do ensaio é necessário que as faces dos pratos do equipamento estejam limpas, assim como, a superfície dos corpos de prova. Os corpos de prova devem ser cuidadosamente centralizados com o auxílio dos círculos concêntricos de referência. A escala de força escolhida deve estar de acordo com a calibragem da máquina. O carregamento aplicado deve ser contínuo e com velocidade de carregamento de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s e sua velocidade constante só deve cessar quando houver a ruptura do corpo de prova.

Os valores de resistência são obtidos dividindo a carga de ruptura pela área da seção, sendo expresso em MPa.

3.2.8.2 Ensaio de tração na flexão

Para a realização do ensaio nos corpos de prova prismáticos foi consultada a norma NBR NM 12142 (ABNT, 2010), que emprega o princípio da viga simplesmente apoiada com duas forças concentradas nos terços do vão. Nos corpos de prova prismáticos, na face de rasamento e na face oposta, devem ser traçadas linhas de modo a facilitar a centralização do mesmo conforme Figura 12 e Figura 13.

Figura 12 - Representação esquemática do ensaio de flexão de 4 pontos.



Fonte: ABNT (2010).

Figura 13 - Representação esquemática do ensaio de flexão de 3 pontos



Fonte: Próprio autor

O corpo de prova deve ser centralizado sobre os eixos. A carga deve ser contínua e sem choques de forma que o aumento da tensão sobre o corpo de prova esteja no intervalo de 0,9 MPa/min a 1,2 MPa/min. Após a ruptura, determina-se a resistência conforme equação 07.

$$f_{ct,t} = F.l / b.d^2 \quad (07)$$

Caso a ruptura ocorra fora do terço médio, a uma distância não superior a 5% de l calcula a resistência à tração na flexão pela equação 08:

$$f_{ct,t} = 3. F. a / b.d^2 \quad (08)$$

onde:

$f_{ct,t}$ = resistência à tração na flexão (MPa);

F = força máxima registrada na máquina de ensaio (N)

l = dimensão do vão entre apoios (mm);

b = largura média do corpo de prova (mm);

d = altura média do corpo de prova (mm);

a = distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo.

3.2.8.3 Determinação do módulo de elasticidade

O Ensaio para determinar o módulo de elasticidade foi de acordo com a NBR 8522 (ABNT, 2008). O equipamento utilizado foi o mesmo para determinar a resistência à compressão axial, mas para verificar a deformação é necessária a utilização de um compressômetro, como mostra na Figura 14.

Figura 14 - Ensaio do módulo de elasticidade



Fonte: Próprio autor

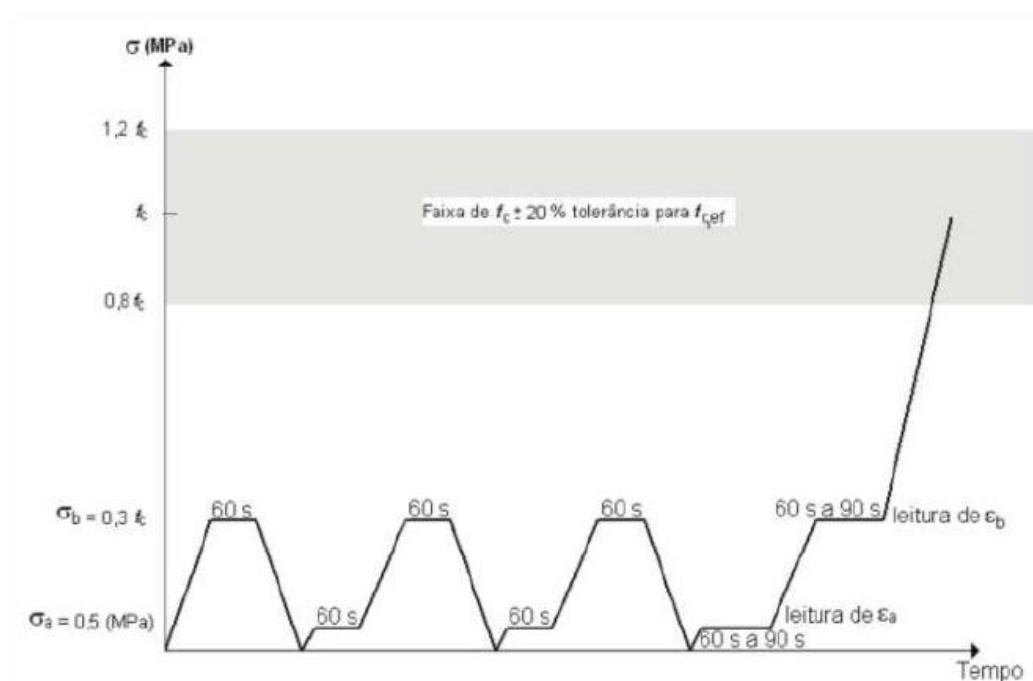
Os corpos de prova possuem a mesma geometria dos utilizados para determinar a resistência à compressão axial.

Para o procedimento do ensaio, se determina inicialmente a resistência à compressão axial para identificar os níveis de carregamento que serão utilizado no ensaio do módulo de elasticidade. São ensaiados no mínimo três corpos de prova que devem ser devidamente centralizados nos pratos da máquina de ensaio, os carregamentos e descarregamentos devem obedecer à velocidade de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s.

Aplica-se o carregamento até a força correspondente à tensão limite superior (30% da tensão de ruptura obtida no ensaio de resistência à compressão) e mantém por 60 s. Em seguida descarrega o corpo de prova até a força próxima de zero. Carregar novamente até força correspondente à tensão de 0,5MPa e mantê-la neste nível por 60s.

Realizaram-se dois ciclos adicionais de mesma carga e descarga. No último ciclo se faz as leituras das deformações, libera-se a instrumentação e carrega o corpo de prova até que se produza a ruptura, obtendo-se a resistência efetiva. A Figura 15 ilustra a representação esquemática do módulo de elasticidade.

Figura 15 - Representação esquemática do carregamento para determinação do módulo de elasticidade.



Fonte: ABNT (2008).

Após os dados coletados fazem-se os cálculos conforme equação 09:

$$E_{ci} = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} \cdot 10^{-3} = \frac{\sigma_b - 0,5}{\epsilon_b - \epsilon_a} \cdot 10^{-3} \quad (09)$$

Onde:

E_{ci} = Módulo de elasticidade (GPa);

σ_b = tensão maior (MPa) (0,3. f_c);

0,5 = tensão básica (MPa);

ϵ_b = deformação específica sobre a tensão maior;

ϵ_a = deformação específica sobre a tensão básica (0,5MPa).

3.2.9 Traços empregados e processo produtivo

Este trabalho foi dividido em duas fases, a Fase I foi desenvolvida no laboratório da Capi Engenharia Ltda., em São José do Rio Preto e no seringal de Palestina e devido às dificuldades com o laboratório, a Fase II foi desenvolvida no laboratório central no Campus da Unesp de Ilha Solteira.

3.2.9.1 Fase I

Na fase I foram desenvolvidos dois traços de concreto: os de referência, designados pelas siglas RI e RII e os equivalentes, com porcentagens de látex sobre a massa de água, denominado como LI, LII e LIII (especificados na Tabela 13).

A dosagem do traço de concreto de referência foi desenvolvida de acordo com as especificações do DNIT abordada na bibliografia e o traço com látex foi substituído às porcentagens na quantidade da água de amassamento. Na Tabela 13 são apresentadas as classificações e as dosagens do concreto.

Tabela 13 - Denominação e dosagem do concreto

Concreto	Denominação	Dosagem cimento:areia:Brita
RI	Concreto Referência	1:1,20:2,37
LI	Concreto com 5% de látex natural (com amônia)	1:1,20:2,37
RII	Concreto Referência	1:1,41:1,82
LII	Concreto com 5% de látex natural (sem amônia)	1:1,41:1,82
LIII	Concreto com 10% de látex natural (sem amônia)	1:1,41:1,82

Fonte: Próprio autor

As tabelas 14 e 15 apresentam as quantidades em massa dos materiais utilizados na dosagem.

Tabela 14 - Composição em massa do traço (1:1,20:2,37)

Concreto	A/C	M _{cimento} (kg)	M _{miúdo} (kg)	M _{graúdo} (kg)	M _{látex} (kg)	M _{água} (kg)
RI	0,4	55,71	66,86	132,05	-	22,58
LI	0,41	55,71	66,86	132,05	1,12	23,06

Fonte: Próprio autor

Tabela 15 - Composição em massa do traço (1:1,41:1,82)

Concreto	A/C	M _{cimento} (kg)	M _{miúdo} (kg)	M _{graúdo} (kg)	M _{látex} (kg)	M _{água} (kg)
RII	0,46	8,5	12	15,5	-	3,93
LII	0,47	8,5	12	15,5	0,13	4
LIII	0,47	8,5	12	15,5	0,27	4

Fonte: Próprio autor

Os materiais aplicados no traço da Fase I foram: cimento CPPII-E-32 marca Cauê, areia natural grossa e brita 9,5/25,0 obtida pelo Porto de Areia Salione em São José do Rio Preto. Esses traços foram ensaiados no laboratório da CAPI Engenharia em São José do Rio Preto.

Nos resultados que serão apresentados, observa-se que foi necessário processar dois traços de referência. Desenvolveu inicialmente o traço RI e LI - Tabela 14 a serem curados e rompidos com 7 e 28 dias. O segundo estudo foi desenvolvido no seringal onde coletou-se o látex diretamente da árvore para que não houvesse a coagulação do leite, já que este não possui a amônia para retardar a coagulação. Produzimos o traço RII, LII e LIII (Tabela 14) a serem curados e rompidos com 7 dias. Suas propriedades foram analisadas no estado fresco, com o ensaio de abatimento e no concreto endurecido, com ensaio de resistência à compressão. Isso foi feito para analisar se houve melhora na propriedade do concreto sem a amônia no látex.

3.2.9.2 Fase II

A fim de verificar a atuação do látex com o tempo, foram confeccionados corpos de prova com látex e sem látex, para serem rompidos em idades de 28 a 50 dias.

Portanto na Fase II, foram rompidos Corpos de prova com idades mais avançadas em relação à Fase I.

Na fase II foi desenvolvido um traço de referência designado pela sigla RIII e os equivalentes, com porcentagens de látex sobre a massa de água, denominado como LIV e LV.

A dosagem do traço também foi desenvolvida de acordo com o DNIT e o traço com látex foi substituído às porcentagens na quantidade da água de amassamento. Na Tabela 16 são apresentadas as dosagens e as denominações do concreto.

Tabela 16 - Denominações e dosagem do concreto

Concreto	Denominação	Dosagem cimento:areia:Brita
RIII	Concreto Referência	1:1,18:2,19
LIV	Concreto com 3% de látex natural (com amônia)	1:1,18:2,19
LV	Concreto com 3% látex sintético SBR (Estireno butadieno)	1:1,18:2,19

Fonte: Próprio autor

O látex sintético estireno butadieno sofre processo de polimerização e, conforme citado por Carbone et al. (2013), é um látex polimérico comercialmente aplicado em argamassas para reparo e chapisco.

Na dosagem do concreto, o mesmo foi utilizado com o objetivo de comparar os resultados com o concreto com látex natural (com amônia) e o concreto referência.

A Tabela 17 apresenta as quantidades em massa dos materiais utilizados na dosagem.

Tabela 17 - Composição em massa do traço (1:1,18:2,19)

Concreto	A/C	M_{cimento} (kg)	M_{miúdo} (kg)	M_{graúdo} (kg)	M_{látex} (kg)	M_{água} (kg)
RIII	0,46	73,40	86,61	160,74	-	34,07
LIV	0,46	73,40	86,61	160,74	1,02	34,30
LV	0,44	73,40	86,61	160,74	1,02	32,77

Fonte: Próprio autor

Os materiais aplicados no traço da Fase II foram: cimento CP V ARI marca Votoran, areia natural fina e brita 9,5/25,0 obtida no Porto de Areia de Castilho. Esses traços foram ensaiados no laboratório do Campus da Unesp de Ilha Solteira.

O objetivo na mudança do material e laboratório foi para verificar se haveria uma melhora na resistência do concreto com o tempo e com adição do látex. Sendo que, essa mudança ocorreu devido à dificuldade de usar o mesmo laboratório da fase I.

Os corpos de prova foram curados e rompidos com idades de 28 e 50 dias, como abordado na bibliografia. Nas primeiras idades de hidratação, a resistência mecânica diminuiu com o aumento do teor de látex, mas em idades avançadas essa tendência é invertida, houve-se a necessidade de mais tempo de cura para comparar as propriedades do concreto com látex e analisar as propriedades. Foram analisadas as propriedades no estado fresco, com o ensaio de abatimento e no concreto endurecido, com os ensaios de resistência à compressão, tração e módulo de elasticidade, a fim de analisar se houve melhora na propriedade do concreto.

3.2.9.2 Processo produtivo

É importante ressaltar o processo produtivo do traço, o traço segue um processo de produção na betoneira, uma sequência para não haver perda de materiais e ter uma absorção adequada. Nas Tabelas 18 e 19 é apresentada essa sequência.

Tabela 18 - Ordem dos materiais na betoneira para o traço referência

Lançamento	Materiais adicionados	Tempo de mistura
1º	Agregado graúdo + Parte da água	1 minuto
2º	Agregado miúdo + Parte da água	2 minutos
3º	Cimento + Parte água	3 minutos (até a massa estar consistente)

Fonte: Próprio autor

Tabela 19 - Ordem dos materiais na betoneira para o traço com látex

Lançamento	Materiais adicionados	Tempo de mistura
1°	Agregado graúdo + Parte da água	1 minuto
2°	Agregado miúdo + Parte da água	2 minutos
3°	Cimento + Parte da água	3 minutos
4°	Látex + Restante da água	4 minutos (até a massa estar consistente)

Fonte: Próprio autor

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

4.1.1 Ensaio de abatimento do tronco de cone

4.1.1.1 Resultados fase I

Os resultados de abatimento da primeira fase do trabalho estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Resultados do ensaio de abatimento do tronco de Cone (fase I)

Concreto	Relação água/cimento	Relação (água + látex)/cimento	Abatimento (cm)
RI	0,4	-	9,5
LI	0,41	0,43	8
RII	0,46	-	4
LII	0,47	0,48	4
LIII	0,47	0,5	12

Fonte: Próprio autor

Os Traços de Referência RI e RII obtiveram abatimentos bem diferentes conforme apresentados na Tabela 20. Isto deve ter ocorrido devido ao fato de serem traços diferentes (Tabela 13), pois o traço RII teve maior quantidade de argamassa do que o traço RI. Também pode haver ocorrido interferência das condições climáticas na execução de cada traço. O traço RI apresentou uma consistência com maior trabalhabilidade que o traço RII. Procurou-se neste trabalho manter aproximadamente a mesma relação água/cimento, embora a do traço RII tenha sido um pouco maior que do traço RI, influenciando na resistência do concreto.

Os traços com látex LI, LII e LIII, obtiveram os resultados de abatimento apresentados na Tabela 20. No traço LI tentou-se manter a mesma relação água/cimento que a do traço RI (Tabela 20), quando adiciona o látex natural (com amônia), mas seu abatimento foi 0 cm, então foi acrescida água até uma consistência próxima ao traço de referência RI, aumentando sua relação água/cimento. No traço LII, para manter o mesmo abatimento em relação ao traço de referência RII, foi necessário acréscimo de água também aumentando sua

relação água cimento. O traço LIII manteve a mesma relação água cimento, ou seja, a mesma quantidade de água do traço LII gerou uma massa com abatimento bem maior. Porém se fixar o mesmo abatimento que o traço LII e RII (Tabela 20) sua relação água/cimento seria menor, o que deveria favorecer aumento de resistência.

Entretanto podemos observar que o látex natural (com amônia e sem amônia), deixa a massa com menor consistência, sendo necessário acréscimo de água, favorecendo queda na resistência. E quanto há o aumento da porcentagem de látex aumenta, também, a trabalhabilidade.

Esse resultado está de acordo com o estudo feito por Ballista (2003), que afirma que quanto maior a porcentagem de látex maior a trabalhabilidade.

Todos os traços estão com a relação água/cimento de acordo com a literatura. Entretanto, os abatimentos dos traços RII e LII foram menores que o esperado, o que deve ter ocorrido pela quantidade de argamassa (Tabela 13) e o do traço LIII maior, isso deve ter ocorrido devido ao aumento na quantidade de látex natural.

4.1.1.2 Resultados fase II

Os resultados da segunda fase deste trabalho estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Resultados do ensaio de abatimento do tronco de cone (fase II)

Concreto	Relação água/cimento	Relação (água + látex)/cimento	Abatimento (cm)
RIII	0,46	-	5,5
LIV	0,46	0,48	9
LV	0,44	0,46	10

Fonte: Próprio autor

Os traços com látex LIV e LV (Tabela 16) obtiveram os resultados de abatimento apresentados na Tabela 21. O traço LIV manteve a mesma relação água/cimento, que o traço de referência RIII (Tabela 21). O abatimento aumentou conforme apresentado na Tabela 21. No traço LV, a relação água/cimento é menor

comparando com o traço de referência RIII, mostrando que a quantidade de água foi menor e gerou uma massa com abatimento maior.

Entretanto, nessa fase podemos observar que o látex natural (com amônia), mesmo com a mudança de materiais e mantendo a mesma relação água/cimento, apresentou consistência maior e o látex sintético SBR apresentou consistência ainda maior, mesmo baixando a relação água/cimento, confirmando que o látex aumenta a trabalhabilidade.

E comparando o látex natural LIV(com amônia) com o látex sintético LV SBR (estireno butadieno), observa que a quantidade de água foi menor baixando a relação água/cimento e mesmo assim sua consistência foi maior. Então podemos concluir que o látex sintético SBR aumenta a trabalhabilidade do concreto mais que o látex natural (com amônia). E podendo diminuir a quantidade de água, para obter o mesmo abatimento, deve-se obter aumento de resistência.

4.2 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

4.2.1 Ensaios mecânicos

4.2.1.1 Resistência à compressão axial

4.2.1.1.1 Resultados fase I

Os resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_c) estão apresentados nas Tabelas 22 e 23, para a idade de 7 e 28 dias, respectivamente.

Tabela 22 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_{c7}) (7 dias – MPa)

Identificação CP'S	RI	LI	RII	LII	LIII
CP 1	29,32	26,37	23,7	20,6	14,3
CP 2	26,09	23,51	22,9	18,8	13,9
CP 3	27,37	23,71	22	18,2	13,8
Média	27,59	24,53	22,87	19,20	14,00
Variância	2,65	2,55	0,72	1,56	0,07
Desvio Padrão	1,63	1,60	0,85	1,25	0,26

Fonte: Próprio autor

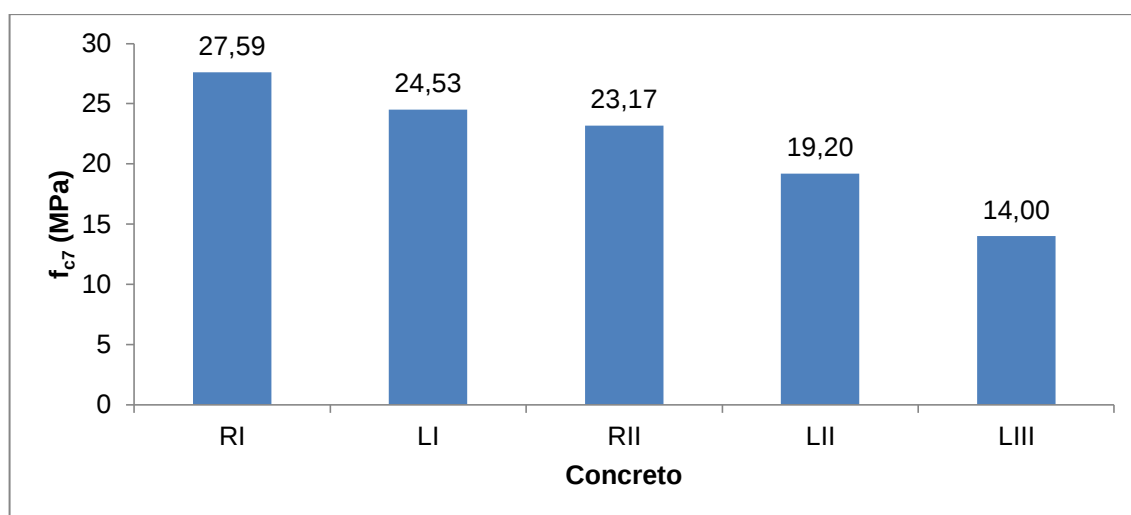
Tabela 23 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_{c28}) (28 dias – MPa)

Identificação CP'S	RI	LI
CP 1	32,56	27,84
CP 2	31,15	27,94
CP 3	33,17	28,63
Média	32,29	28,14
Variância	1,07	0,19
Desvio Padrão	1,04	0,43

Fonte: Próprio autor

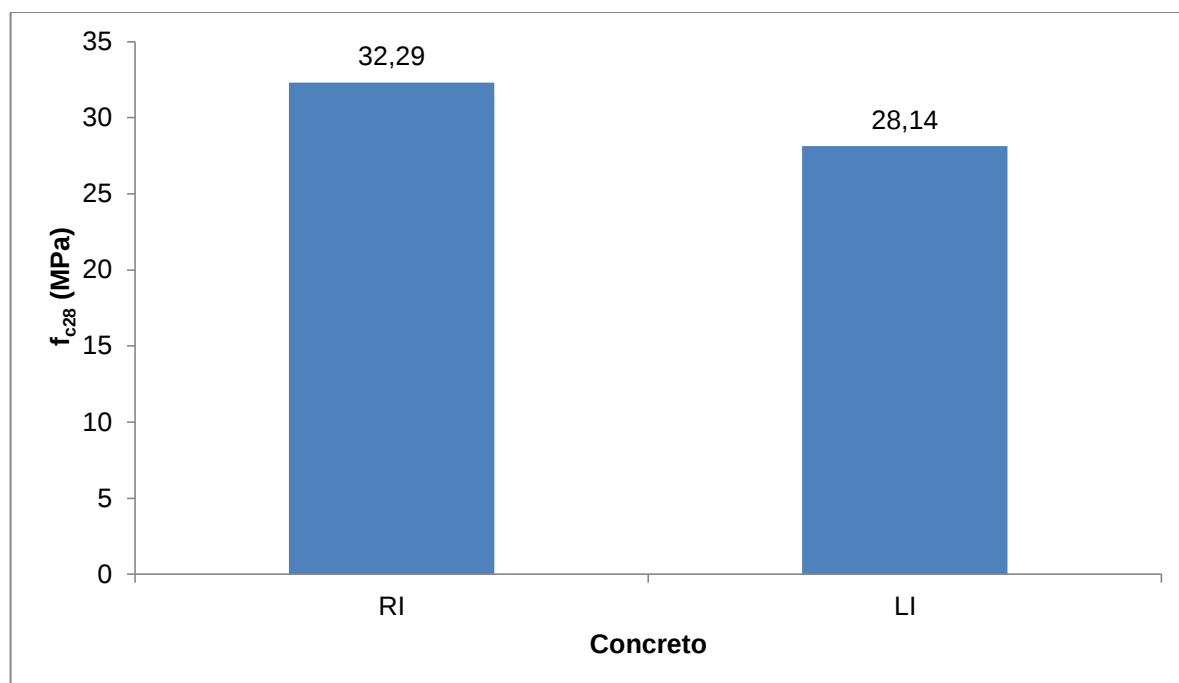
Os resultados apresentados nas tabelas 22 e 23 são apresentados graficamente nas Figuras 16 e 17, respectivamente.

Figura 16 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_{c7}) (7 dias – MPa)



Fonte: Próprio autor

Figura 17 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_{c28}) (28 dias – MPa)



Fonte: Próprio autor

Os resultados de resistência à compressão axial mostram que o concreto com adição de látex natural (com amônia) em relação ao de referência apresenta uma queda de resistência. Essa queda justifica o aumento da quantidade de água

acrescentada ao traço aumentando sua relação água/cimento e baixando sua resistência.

Os resultados de resistência média do látex natural (com amônia) aos 7 dias de cura, mostram que o concreto LI apresentou queda de 11,09% em relação ao traço RI (Tabela 22). E aos 28 dias 12,85% (Tabela 23).

Os resultados de resistência média do traço com látex natural (sem amônia), confeccionado para analisar a influência da amônia e as porcentagens de 5% e 10% aos 7 dias de cura mostram que o traço LII apresentou redução de 17,13%, em relação ao traço de referência RII (Tabela 22). O traço LIII obteve perda de resistência à compressão 39,57%, em relação ao traço de referência RII (Tabela 22). Portanto, quanto maior o acréscimo de látex natural, menor foi a sua resistência. Os resultados também mostraram que a amônia não apresentou influência significativa em relação ao concreto sem amônia, para a resistência à compressão nas propriedades do concreto.

Os resultados apresentados aos 28 dias de cura obtiveram um aumento de resistência. O traço RI atingiu a resistência desejada (Tabela 23), conforme literatura (DNIT, 2004). O traço LI (Tabela 23) obteve aumento de resistência e atingiu, aproximadamente, a resistência desejada em projeto faltando somente 6,20%.

Com os resultados apresentados e de acordo com a bibliografia que nos diz que nas primeiras idades, há retardo de hidratação do cimento e não há coalescência do látex, com o passar do tempo, a reação do cimento continua ocorrendo e a coalescência do látex é favorecida pela secagem da amostra, formando um filme polimérico, então nas primeiras idades de hidratação a resistência diminui, mas em idades avançadas essa tendência é invertida (KNAPEN, 2007). Com essa informação se desenvolveu a Fase II para analisar as propriedades do concreto em maior tempo de cura, aos 50 dias.

4.2.1.1.2 Resultados fase II

Os resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_c) estão apresentados nas Tabelas 24 e 25, para a idade de 28 e 50 dias, respectivamente.

Tabela 24 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_{c28}) (28 dias - MPa)

Identificação CP'S	RIII	LIV	LV
CP 1	36,86	25,06	27,99
CP 2	29,55	22,34	23,52
CP 3	36,16	20,17	30,98
CP 4	27,68	20,26	24,72
Média	32,56	21,96	26,80
Variância	48,43	13,93	31,08
Desvio Padrão	6,96	3,73	5,58

Fonte: Próprio autor

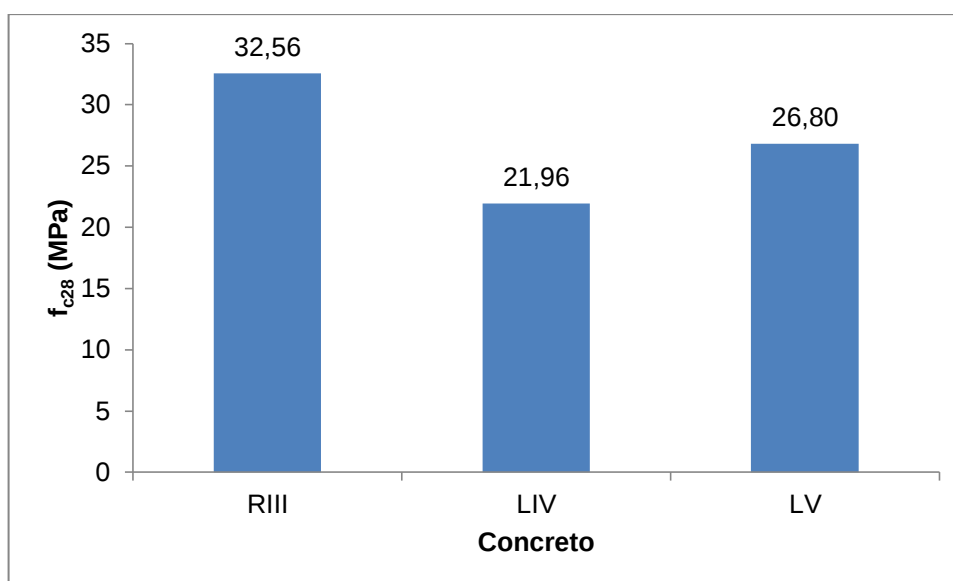
Tabela 25 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_{c50}) (50 dias - MPa)

Identificação CP'S	RIII	LIV	LV
CP 1	31,15	31,24	35,78
CP 2	31,69	35,75	31,38
CP 3	34,39	30,94	25,27
CP 4	29,71	29,57	38,54
Média	31,74	31,88	32,74
Variância	8,76	18,06	78,12
Desvio Padrão	2,96	4,25	8,84

Fonte: Próprio autor

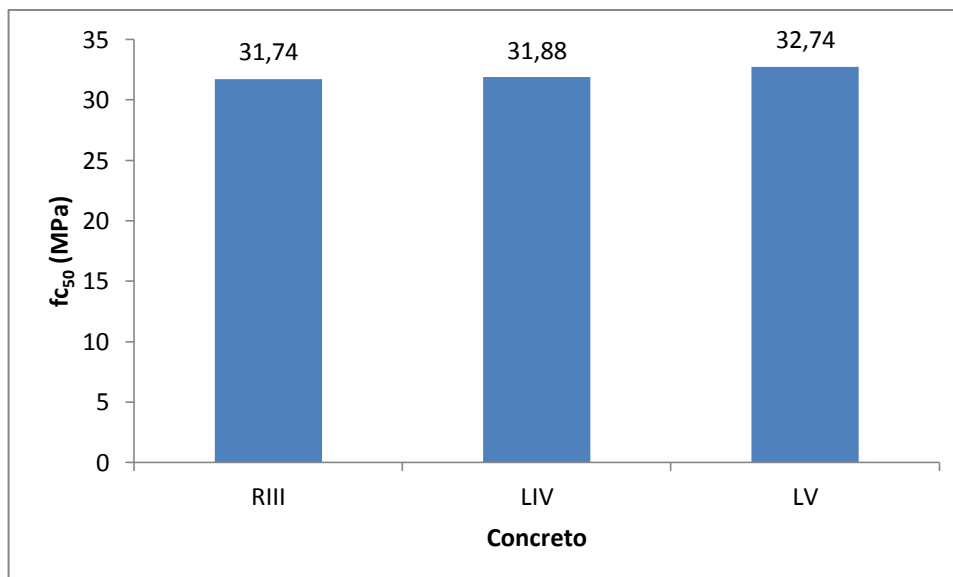
Os resultados apresentados nas Tabelas 24 e 25 são apresentados graficamente nas Figuras 16 e 17, respetivamente.

Figura 18 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_{c28}) (28 dias – MPa)



Fonte: Próprio autor

Figura 19 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial (f_{c50}) (50 dias – MPa)



Fonte: Próprio autor

Os resultados de resistência à compressão axial mostram que o concreto com adição de látex em relação ao de referência apresenta uma queda de resistência aos 28 dias e, aos 50 dias, essa tendência desaparece (Tabelas 24 e 25). Esse resultado está de acordo com (KNAPEN, 2007).

Os resultados de resistência média aos 28 dias de cura mostram que o concreto LIV apresentou uma queda de 32,55% em relação ao traço RIII (Tabela 24). O traço LV apresentou uma redução menor de 17,69% em relação ao traço de referência RIII (Tabela 24). Entretanto, o abatimento do LIV e do LV foram bem maiores para a mesma relação água/cimento (Traço LIV – Tabela 21), ou até menor relação (Traço LV – Tabela 21).

Os resultados apresentados aos 28 dias de cura mostram que o traço RIII atingiu a resistência desejada (Tabela 24), conforme abordado na bibliografia (DNIT, 2004). Os traços LIV e LV (Tabela 24) não atingiram a resistência desejada em projeto.

Aos 50 dias de cura se observa que o traço RIII praticamente apresentou o mesmo resultado de resistência em relação aos 28 dias, ou seja, não apresentou mais aumento de resistência. Enquanto que os traços LIV e LV apresentaram um aumento de resistência de 31,11% e 18,14%, respectivamente. O aumento de ambos foi aos 50 dias em relação aos 28.

Com os resultados apresentados podemos confirmar o que a bibliografia aborda que no concreto com látex nas primeiras idades, há retardo de hidratação do cimento e não há coalescência do látex, mas com o passar do tempo a reação do cimento continua e a coalescência do látex é favorecida, o que aumenta a resistência do concreto (KNAPEN, 2007).

Em outra análise o traço com látex sintético SBR em relação ao traço com látex natural (com amônia) a diferença de resistência é de 18,05% aos 28 dias. Aos 50 dias a resistência é praticamente a mesma para todos os concretos (Figuras 16 e 17). Essa diferença pode ser com a mudança da relação água/cimento e a manutenção do abatimento para todos os traços. Nesse trabalho tentou-se manter a relação e ficou visível que a consistência da massa aumentou (Tabela 21). Então mantendo o mesmo abatimento essa consistência diminui e, conseqüentemente, sua resistência deverá aumentar, alterando essa diferença.

Comparando a presente pesquisa com a de Ballista (2003), este obteve resistências maiores aos 28 dias, para o concreto com 10% látex sintético SBR, em relação ao seu concreto de referência. Isto pode ter ocorrido, pois naquele trabalho foi usado agregado reciclado. Os resultados da presente pesquisa não estão de acordo com os resultados de Ballista, sendo que este obteve resistências maiores

aos 28 dias, para o concreto com 10% látex sintético SBR, em relação ao seu concreto de referência. Isto pode ter ocorrido, pois naquele trabalho foi usado agregado reciclado.

4.2.1.2 Resistência à tração na flexão

4.2.1.2.1 Resultados fase I

Os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão ($f_{ct,f}$) de 4 pontos são apresentados na Tabela 26 e 27. Para idades de 7 e 28 dias, respectivamente.

Tabela 26 - Resultado do ensaio à tração na flexão ($f_{ct,f}$) (7 dias - MPa)

Identificação CP'S	RI	LI
CP 1	3,88	3,67
CP 2	3,64	3,37
CP 3	3,27	3,38
Média	3,60	3,47
Variância	0,14	0,05
Desvio Padrão	0,37	0,23

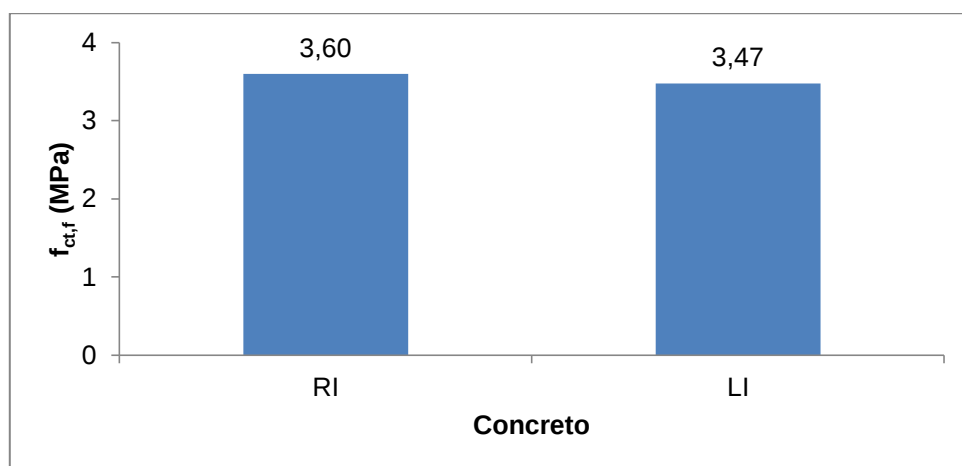
Fonte: Próprio autor

Tabela 27 - Resultado do ensaio à tração na flexão ($f_{ct,f}$) (28 dias - MPa)

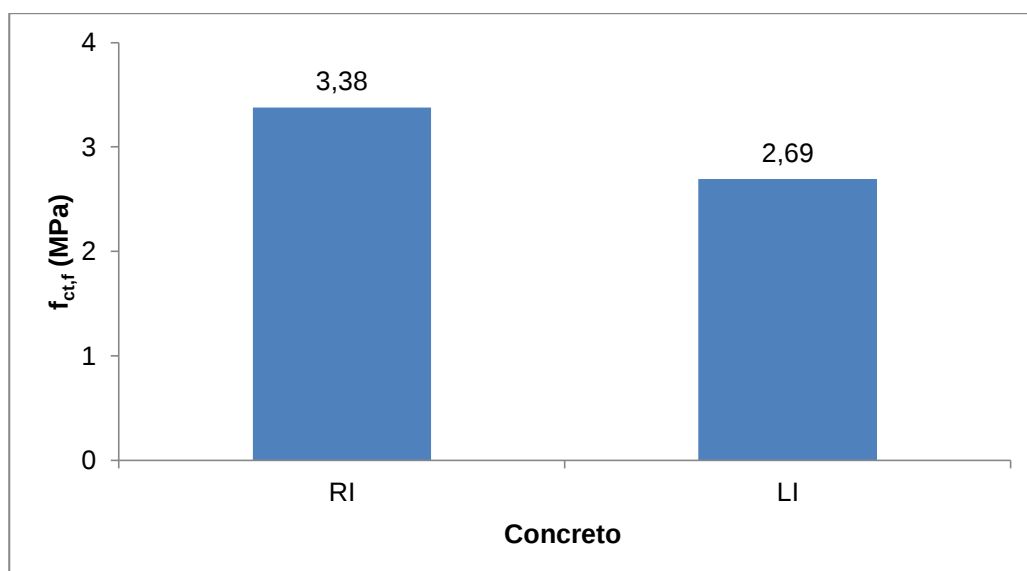
Identificação CP'S	RI	LI
CP 1	2,96	2,51
CP 2	3,42	2,89
CP 3	3,75	2,68
Média	3,38	2,69
Variância	0,25	0,07
Desvio Padrão	0,50	0,27

Fonte: Próprio autor

Os resultados apresentados nas Tabelas 26 e 27 estão ilustrados nas Figuras 18 e 19, respectivamente.

Figura 20 - Resultado do ensaio à tração na flexão ($f_{ct,f}$) (7dias – MPa)

Fonte: Próprio autor

Figura 21 - Resultado do ensaio à tração na flexão ($f_{ct,f}$) (28 dias – MPa)

Fonte: Próprio autor

Os resultados médios das resistências à tração na flexão, com 7 dias de cura, mostram que o concreto LI apresentou uma resistência 3,61% menor que o concreto referência RI (Tabela 26). O concreto LI, aos 28 dias, apresentou queda de 20,41% em relação ao concreto referência RI (Tabela 27).

O concreto do estudo tem o objetivo de aplicação em pavimento e, na literatura estudada, este concreto tem que ter resistência de tração na flexão de 4,5 MPa, adotada na maioria dos projetos (DNIT, 2004). Entretanto, nesse estudo o concreto obteve uma resistência menor, não sendo indicado para essa finalidade. Mas, como a finalidade é comparar resultados, pode-se analisar que o concreto com

látex obteve uma resistência à tração menor que o concreto comum. Não foram encontrados resultados na literatura de ensaios de tração na flexão de concreto com látex, por este motivo não foram citados resultados para comparação.

4.2.1.2.2 Resultados fase II

Os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão ($f_{ct,f}$) de 3 pontos são apresentados na Tabela 28 e 29. Para idades de 28 e 50 dias, respectivamente.

Tabela 28 - Resultado do ensaio à tração na flexão aos ($f_{ct,f}$) (28 dias - MPa)

Identificação CP'S	RIII	LIV	LV
CP 1	4,75	4,02	4,02
CP 2	5,07	3,98	3,96
CP 3	4,66	3,53	4,05
CP 4	5,34	3,85	3,72
Média	4,96	3,85	3,94
Variância	0,19	0,15	0,04
Desvio Padrão	0,44	0,38	0,19

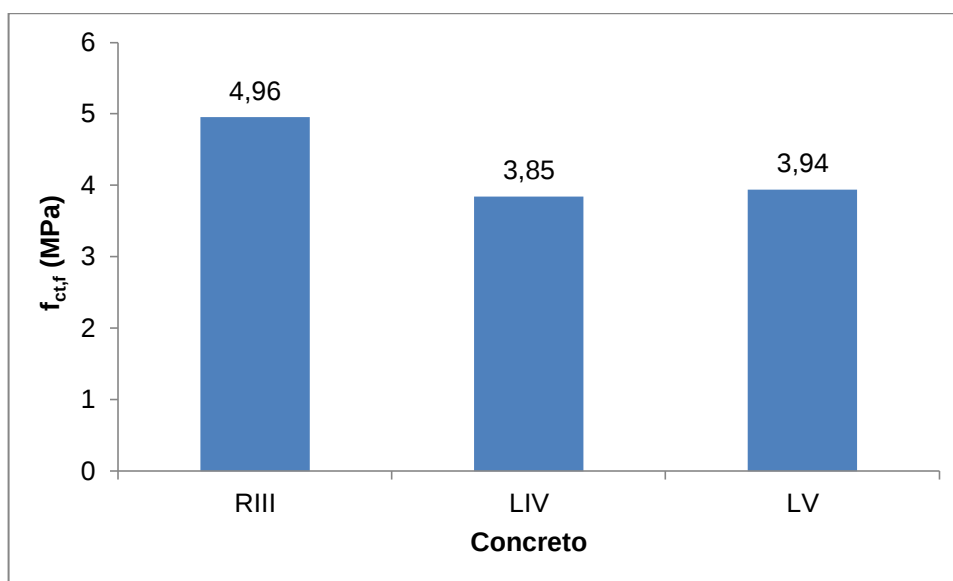
Fonte: Próprio autor

Tabela 29 - Resultado do ensaio à tração na flexão aos ($f_{ct,f}$) (50 dias - MPa)

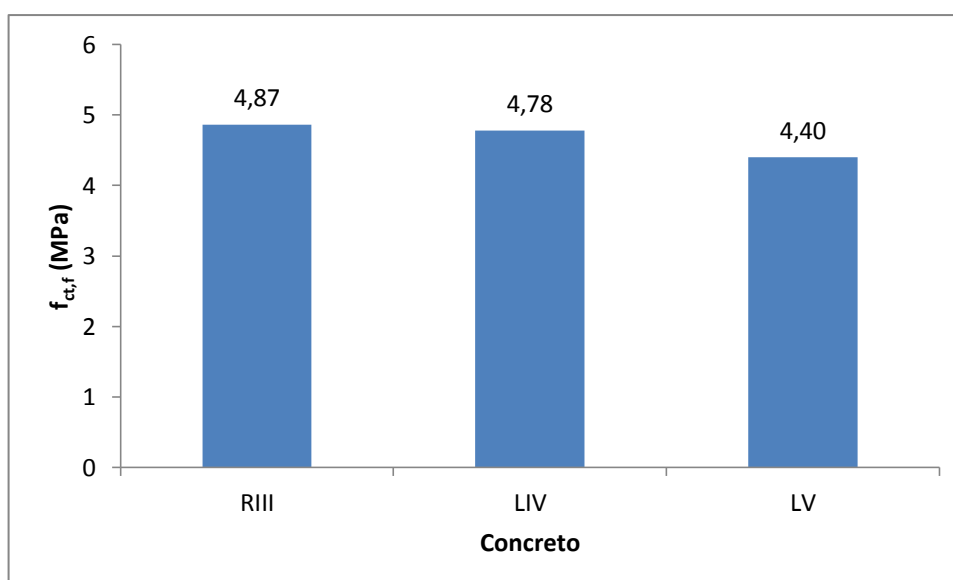
Identificação CP'S	RIII	LIV	LV
CP 1	4,22	4,72	4,7
CP 2	5,63	4,96	4,47
CP 3	4,74	4,53	4,05
CP 4	4,87	4,89	4,39
Média	4,87	4,78	4,40
Variância	1,02	0,10	0,22
Desvio Padrão	1,01	0,32	0,47

Fonte: Próprio autor

Os resultados apresentados nas Tabelas 28 e 29 estão ilustrados nas Figuras 22 e 23, respectivamente.

Figura 22 - Resultado do ensaio à tração na flexão ($f_{ct,f}$) (28 dias – MPa)

Fonte: Próprio autor

Figura 23 - Resultado do ensaio à tração na flexão ($f_{ct,f}$) (50 dias – MPa)

Fonte: Próprio autor

Os resultados médios das resistências à tração na flexão, aos 28 dias de cura, mostram que o concreto LIV apresentou resistência 22,37% menor em relação ao concreto referência RIII (Tabela 28). O traço LV apresentou resistência 20,56% menor em relação ao concreto referência RIII (Tabela 28).

Os resultados médios das resistências à tração na flexão, aos 50 dias de cura, mostram que o concreto LIV apresentou praticamente a mesma resistência do concreto referência RIII (Tabela 29). O traço LV também apresentou resistência bem próxima 9,65% menor que o concreto referência RIII (Tabela 29).

Para o ensaio de tração na flexão, assim como no ensaio de compressão, o concreto de referência, RIII, não obteve ganho de resistência de 28 para 50 dias. A resistência de 4,5 MPa adotada na maioria dos projetos (DNIT, 2004) foi alcançada aos 28 dias. Já os traços LIV e LV não obtiveram resultados satisfatórios para aplicação em pavimento, aos 28 dias. Porém, aos 50 dias estes traços obtiveram resultados satisfatórios para serem aplicados em pavimento.

O traço com látex natural (com amônia) em relação ao traço com látex sintético SBR obteve um aumento de resistência um pouco maior 7,94%.

Ballista (2003) também realizou ensaios por compressão diametral aos 28 dias, confeccionado 3 traços diferentes, com agregado reciclado, diferentes formas de cura, porcentagens de 10%, 20%, 30% de látex sintético SBR e mantendo a mesma relação água/cimento. Assim como no ensaio de compressão, os resultados do autor também não concordam com os resultados da presente pesquisa. Aquele trabalho apresentou melhores resultados com a porcentagem de 10% de látex sintético SBR, aos 28 dias. Entretanto o autor não alcançou a resistência de 4,5 MPa em seus resultados, ficando abaixo da maioria dos resultados de concreto usados em pavimento.

4.2.1.3 Módulo estático de elasticidade

4.2.1.3.1 Resultados Fase I

Os resultados do módulo de elasticidade (E_{ci}) são apresentados nas Tabelas 30 e 31. Para as idades de 7 e 28 dias, respectivamente.

Tabela 30 - Resultado do módulo de elasticidade (E_{ci}) (7 dias – GPa)

Identificação CP'S	RI	LI
CP 1	30,5	27,8
CP 2	30,5	28,4
CP 3	31,2	27,3
Média	30,73	27,83
Variância	0,22	0,46
Desvio Padrão	0,47	0,68

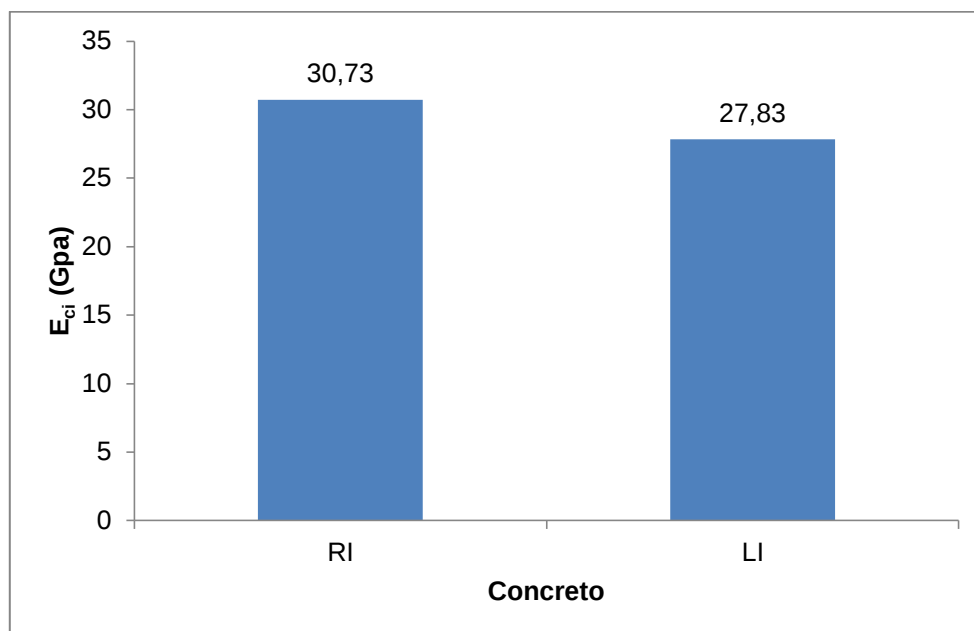
Fonte: Próprio autor

Tabela 31 - Resultado do módulo de elasticidade (E_{ci}) (28 dias – GPa)

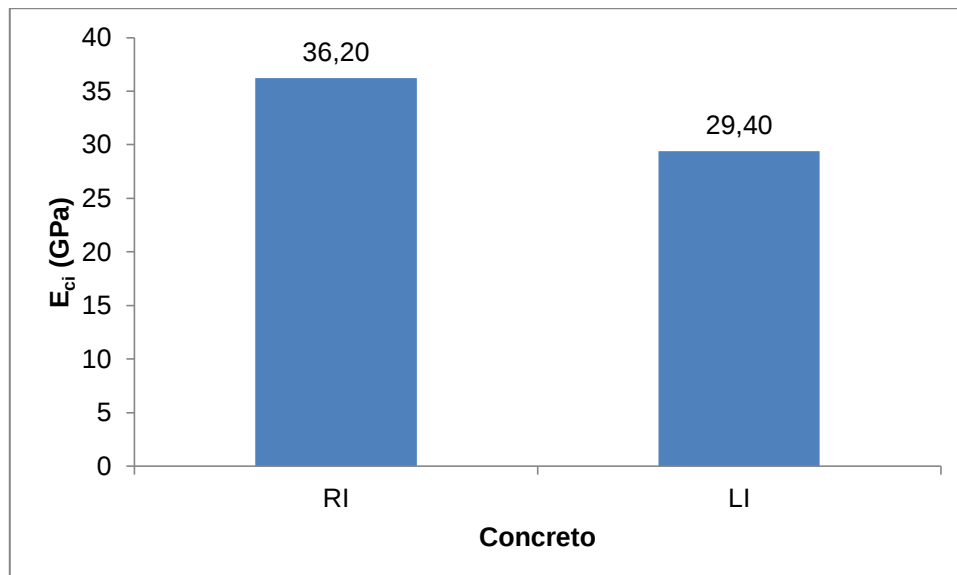
Identificação CP'S	RI	LI
CP 1	36,2	29,8
CP 2	36,2	29,8
CP 3	36,2	28,6
Média	36,20	29,40
Variância	0,00	0,64
Desvio Padrão	0,00	0,80

Fonte: Próprio autor

Os resultados apresentados nas Tabelas 30 e 31 são ilustrados graficamente nas Figuras 24 e 25, respectivamente.

Figura 24 - Resultado do módulo de elasticidade (E_{ci}) (7 dias - GPa)

Fonte: Próprio autor

Figura 25 - Resultado do módulo de elasticidade (E_{ci}) (28 dias - GPa)

Fonte: Próprio autor

Como se pode analisar o módulo de elasticidade obteve uma redução de 9,44% com 7 dias de cura e, de 18,78%, com 28 dias de cura em relação ao traço RI, ou seja, com 28 dias houve uma redução maior.

Em outra análise, a relação módulo de elasticidade/resistência (E_{ci}/F_c) verificará se é vantagem perder na compressão, mas diminuir o módulo também,

pois um módulo menor indica que o material apresenta maior deformação elástica para a mesma carga. Nas Tabelas 32 e 33 são apresentados os resultados.

Tabela 32 - Resultado relação módulo/resistência (E_{ci}/f_c) (07 dias – MPa)

Descrição	RI	LI
Módulo (E_{ci})	30730	27830
Resistência (f_c)	27,59	24,53
E_{ci}/f_c	1113,81	1134,53

Fonte: Próprio autor

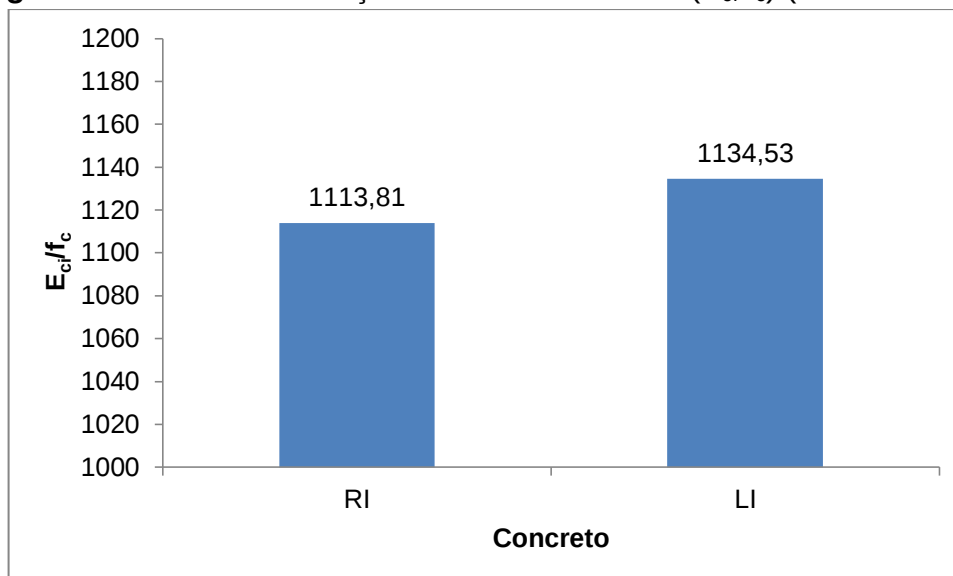
Tabela 33 - Resultado relação módulo/resistência (E_{ci}/f_c) (28 dias – MPa)

Descrição	RI	LI
Módulo (E_{ci})	36200	29400
Resistência (f_c)	32,29	28,14
E_{ci}/f_c	1121,09	1044,776

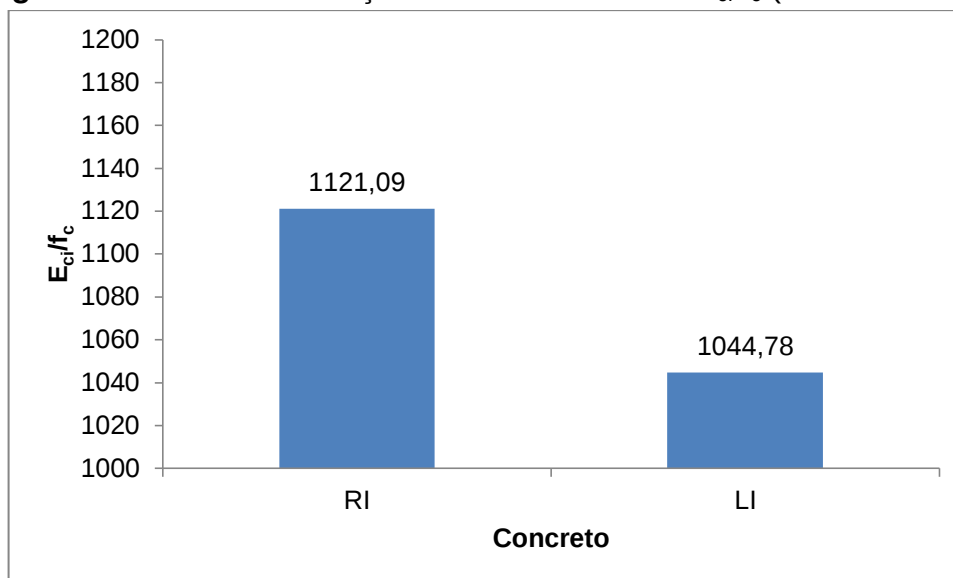
Fonte: Próprio autor

Os resultados apresentados são ilustrados graficamente nas Figuras 26 e 27, respectivamente.

Figura 26 - Resultado relação módulo/resistência (E_{ci}/f_c) (07 dias - MPa)



Fonte: Próprio autor

Figura 27 - Resultado relação módulo/resistência E_{ci}/f_c (28 dias - MPa)

Fonte: Próprio autor

Com os dados apresentados se observa que, com 7 dias de cura o traço RI (Tabela 32) em relação ao LI apresentou uma perda maior em resistência do que um ganho em deformação elástica, ou seja, a relação E_{ci}/f_c foi menor para o traço RI (Tabela 32). Mas, com 28 dias de cura, o ganho de deformação elástica do traço LI compensou a perda em resistência, em relação ao traço RI (Tabela 33). Isso favorece o concreto a ser aplicado em pavimento, porque ele se torna mais deformável, o que deverá minimizar fissuras, aumentando sua vida útil, caso ocorram fissuras é possível observação e reparo com antecedência.

4.2.1.3.2 Resultados fase II

Os resultados do módulo de elasticidade (E_{ci}) são apresentados nas Tabelas 34 e 35. Para as idades de 28 e 50 dias, respectivamente.

Tabela 34 - Resultado do módulo de elasticidade (E_{ci}) (28 dias - GPa)

Identificação CP'S	RIII	LIV	LV
CP 1	38,67	35,73	41,98
CP 2	39,27	44,59	42,08
CP 3	40,52	32,95	38,24
CP 4	36,15	37,84	39,15
Média	38,65	37,78	40,36
Variância	5,96	73,91	10,56
Desvio Padrão	2,44	8,60	3,25

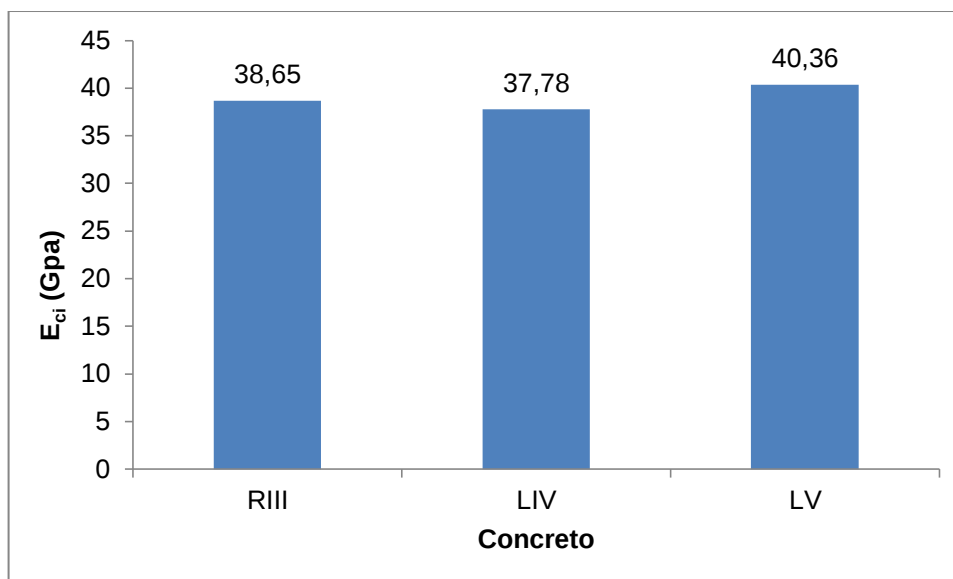
Fonte: Próprio autor

Tabela 35 - Resultado do módulo de elasticidade (E_{ci}) (50 dias - GPa)

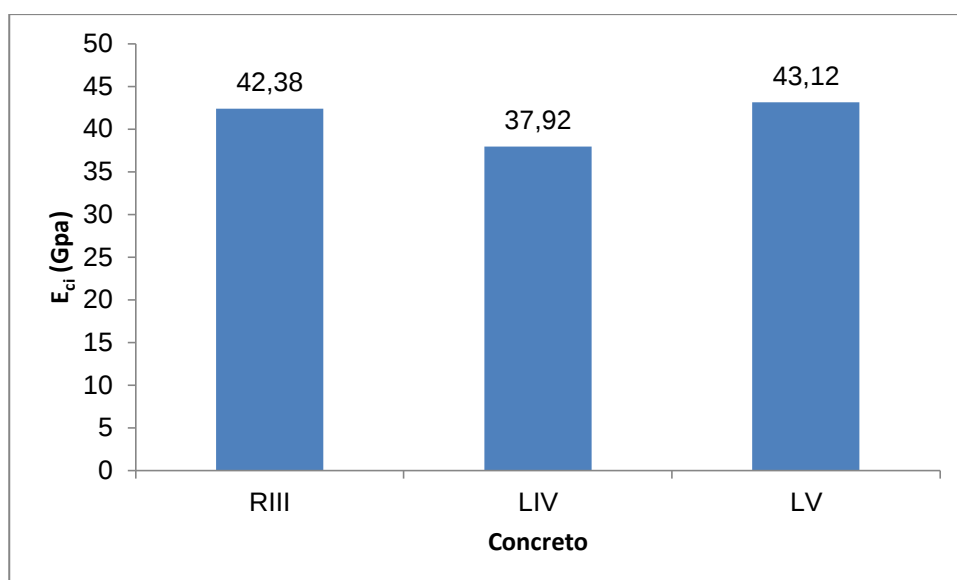
Identificação CP'S	RIII	LIV	LV
CP 1	42,85	35,71	34,52
CP 2	50,86	39,87	40,50
CP 3	39,42	35,70	40,99
CP 4	36,38	40,41	56,48
Média	42,38	37,92	43,12
Variância	92,84	15,68	144,93
Desvio Padrão	9,64	3,96	12,04

Fonte: Próprio autor

Os resultados apresentados nas Tabelas 34 e 35 são ilustrados graficamente nas Figuras 28 e 29, respectivamente.

Figura 28 - Resultado do módulo de elasticidade (E_{ci}) (28 dias - GPa)

Fonte: Próprio autor

Figura 29 - Resultado do módulo de elasticidade (E_{ci}) (50 dias - GPa)

Fonte: Próprio autor

Os resultados médios do módulo de elasticidade, com 28 dias de cura, mostram que o concreto LIV obteve praticamente o mesmo módulo do traço de referência RIII (Tabela 34). O concreto LV apresentou um módulo maior, 4,23% em relação ao concreto referência RIII (Tabela 34).

Aos 50 dias de cura o traço RIII obteve aumento no módulo de elasticidade de 8,80% e LV de 6,40%. O traço LIV manteve praticamente o mesmo módulo. Esses resultados mostram que os concretos RIII e LV se tornaram mais rígidos, ou seja,

para mesma carga estes concretos terão menor deformação aos 50 dias em relação aos 28 dias.

Com os resultados apresentados podemos afirmar que o concreto com látex natural (com amônia) tem um módulo menor que o concreto com látex sintético SBR e o de Referência, favorecendo sua aplicação em pavimento.

Nas Tabelas 36 e 37 é possível verificar a relação módulo de elasticidade/resistência (E_{ci}/f_c).

Tabela 36 - Resultado relação módulo/resistência (E_{ci}/f_c) (28 dias - MPa)

Descrição	RIII	LIV	LV
Módulo (E_{ci})	38650	37780	40360
Resistência (f_c)	32,56	21,96	26,8
E/F_c	1187,04	1720,40	1505,97

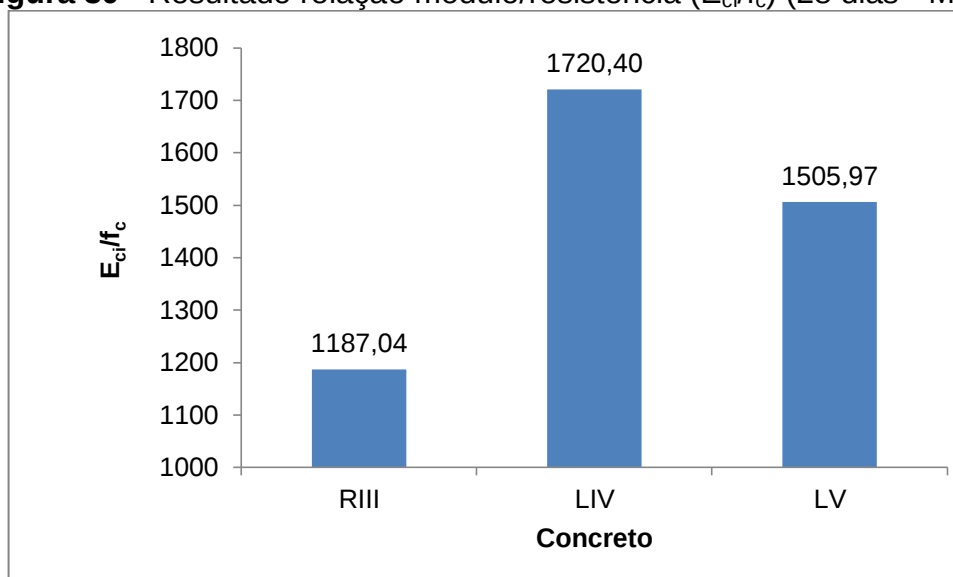
Fonte: Próprio autor

Tabela 37 - Resultado relação módulo/resistência (E_{ci}/f_c) (50 dias – MPa)

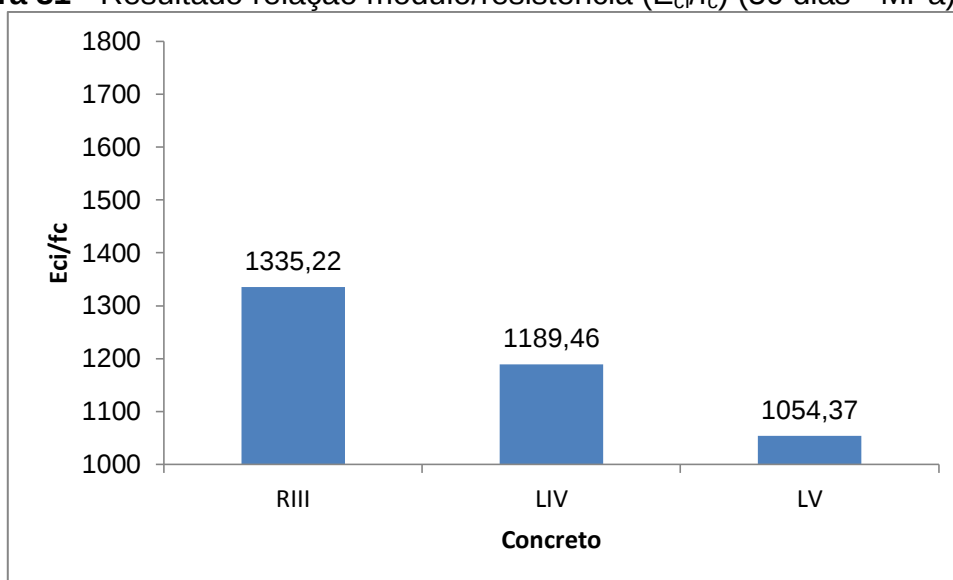
Descrição	RIII	LIV	LV
Módulo (E_{ci})	42380	37920	34520
Resistência (f_c)	31,74	31,88	32,74
E_{ci}/f_c	1335,22	1189,46	1054,37

Fonte: Próprio autor

Os resultados apresentados são ilustrados graficamente nas Figuras 30 e 31, respectivamente.

Figura 30 - Resultado relação módulo/resistência (E_{ci}/f_c) (28 dias - MPa)

Fonte: Próprio autor

Figura 31 - Resultado relação módulo/resistência (E_{ci}/f_c) (50 dias - MPa)

Fonte: Próprio autor

Com os dados apresentados se observa que, com 28 dias de cura, o acréscimo de látex não forneceu ganho de deformação elástica no concreto, pelo contrário, o traço LV apresentou o maior módulo de elasticidade. Como a resistência do traço RIII foi a maior aos 28 dias, este apresentou a melhor relação E_{ci}/f_c .

Entretanto com 50 dias de cura os traços LIV e LV obtiveram ganho de resistência, enquanto que o traço RIII não obteve. Ficaram todos com aproximadamente a mesma resistência e o módulo do traço de referência foi maior,

mostrando que a melhor relação E_{ci}/f_c foi a do traço LV, que se mostrou um pouco menor que do traço LIV e a pior relação foi para o traço RIII, após 50 dias de cura.

A queda nessa relação (E_{ci}/f_c) favorece o uso do concreto a ser aplicado em pavimento, porque mostra que o ganho em deformação compensa a perda em resistência, quando for o caso.

5 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados na fase I mostram que o concreto com 5% de látex natural (com amônia), no estado fresco e, aproximadamente, a mesma relação água/cimento apresentou abatimento próximo ao de referência para o primeiro traço. Já no segundo traço, ao acrescentar 5% de látex natural (sem amônia) o concreto apresentou zero de abatimento e, portanto, necessitou de um aumento da relação água/cimento. Entretanto, ao acrescentar maior quantidade de látex natural (sem amônia - 10%) e com a mesma relação água/cimento do concreto com látex natural (sem amônia - 5%) o abatimento triplicou.

Para a segunda fase, os resultados do concreto com látex natural (com amônia) e com látex sintético SBR apresentaram maior abatimento em relação ao concreto de referência, aproximadamente o dobro. Os resultados do concreto endurecido mostram que o látex natural (sem amônia), mesmo em quantidade menor, influencia as propriedades do concreto. Quanto mais se adiciona látex, mais diminui sua resistência à compressão para idades até 7 dias.

O látex natural (com amônia) apresentou menor influência nos resultados de resistência à compressão em relação ao látex natural (sem amônia). Os resultados também mostraram que com maior tempo de hidratação o concreto com látex alcança a mesma resistência do concreto sem látex. Isso ocorreu após 50 dias de cura. O látex altera a cinética de ganho de resistência do concreto.

Os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão mostram que o concreto teve o mesmo comportamento dos ensaios de resistência à compressão, ou seja, para idade de 50 dias o concreto com látex alcançou praticamente o mesmo resultado que o concreto sem látex. Já para idades menores o concreto de referência apresentou maiores resistências.

Os resultados do ensaio de módulo de elasticidade mostraram que o concreto de referência apresentou maior módulo de elasticidade em relação ao concreto com látex natural (com amônia), para idades de 7, 28 e 50 dias. Entretanto, o concreto com látex sintético SBR apresentou maior módulo de elasticidade que o concreto de referência, tanto para idade de 28 como de 50 dias.

A relação módulo de elasticidade / resistência à compressão, do traço da fase I, foi menor para o concreto de referência em relação ao concreto com látex natural (com amônia), aos 7 dias. Já aos 28 dias, a situação se inverteu, mostrando a melhora da relação com o tempo. Para o traço da fase II, tanto o concreto com látex natural (com amônia) e com o látex sintético SBR apresentaram maior relação em relação ao traço de referência, aos 28 dias. Aos 50 dias a situação se inverteu, mostrando novamente a melhora com o tempo.

Podemos concluir que a inserção de látex natural (com amônia) no concreto se mostrou favorável para aplicação em pavimento, melhorando sua deformação elástica e alcançando resistência igual ao concreto de referência com o tempo. A inserção de látex sintético SBR no concreto também se mostrou apropriada, mas o látex com amônia tem a vantagem de não sofrer nenhum processo industrial, isso pode favorecer no custo do pavimento.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir desta pesquisa, propõem-se como sugestões para a realização de trabalhos futuros as seguintes:

- Analisar as propriedades mecânicas do concreto com adição de látex, porém com o mesmo abatimento e não a mesma relação água/cimento, como foi na presente pesquisa.
- Analisar as propriedades químicas do látex sintético (estireno butadieno) e do látex natural (com amônia), a fim de verificar a quantidade de água em suas composições e identificar sua classe como: Aniônico, catiônico e não – iônicos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 11578:** cimento portland - especificações. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 26:** agregados – amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 248:** agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 27:** agregados – redução da amostra de campo para ensaios em laboratórios. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 27 3310:** peneiras de ensaio – requisitos técnicos e verificação. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 52:** agregado miúdo - determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 53:** agregado graúdo – determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 67:** concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 6502:** rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 7211:** agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 5738:** concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 5739:** concreto – ensaio de compressão dos corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 12142:** concreto – determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismático. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 8522:** concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5733:** cimento portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 45:** agregados – determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12655:** concreto de cimento portland – preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 7500-1:** materiais metálicos – calibração e verificação de máquinas de ensaio estático uniaxial – parte 1 – máquinas de ensaio tração/compressão – calibração e verificação do sistema de medição da força. Rio de Janeiro, 2016.

ADIWILAGA, K.; KUSH, A. Cloning and characterization of cDNA encoding farnesyl diphosphate synthase from rubber tree *Hevea brasiliensis*. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 30, p. 935, 1996.

ALMEIDA, L. C. **Concreto AU414:** estruturas IV – concreto armado. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2016.

AMBROSEWICZ, P. H. L. **Materiais de construção**. São Paulo: Pini, 2012. 460 p.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI. **548.3R - state-of-the-art report on polymer-modified concrete**. Detroit: ACI, 1995. 40 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **BT – 106 guia básico de utilização do cimento portland**, São Paulo: ABCP, 2002. 28 p.

BALLISTA, L. P. Z. **Avaliação de algumas propriedades de concretos estruturais com agregados graúdos reciclados modificados com látex estireno-butadieno**. 2003. 152 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de estruturas) - Faculdade de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2003.

BALBO, J. T. **Pavimentos de concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 472 p.

CANEVAROLO JUNIOR.; SEBASTIÃO, V. **Ciência dos polímeros: – um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber, 2002. 280 p.

CARBONE, C. E. et al. **Efeito da adição de látex as pastas de cimento branco**. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n 3, p. 317-330, jun. 2012. Disponível em: <<http://>

http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=UA&search_mode=General Search&qid=5&SID=4DdYF5YI98kjufrDKz&page=1&doc=1 >. Acesso em: 13 maio 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de pavimentos rígidos** 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2004. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/normas/download/Manual%20de%20Pavimentos%20R%C3%EDgidos%20-%20VERS%C3%O%20INICIAL.pdf>>. Acesso em: 19 ag. 2014.

DAOU, Y.; ASSAAD, J. J. Use of SBR Latexes to mitigate inferior concrete properties resulting from recycled coarse aggregates, **International Journal of Civil Engineering and Technology**, Lame, v. 7, n. 3, p. 67–80, 2016. Disponível em: <http://www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJCIET_07_03_007/IJCIET_07_03_007.pdf>. Acesso em: 20 out. 2016.

HUANG, B., et al. **Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete**. Taiwan: Department of Construction Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, 2009. Disponível em: < http://ac-els-cdn-com.ez87.periodicos.capes.gov.br/S0022169415009294/1-s2.0-S0022169415009294-main.pdf?_tid=189bd3e0-c553-11e6-a26d-00000aab0f6b&acdnat=1482087316_570a394999a896718fbfd7737d44bbcf>. Acesso em: 17 maio 2016.

JINGANG, W. et al. **study of cement mortars modified by emulsifier-free latexes. Cement and concrete composites**, China, v. 27, n. 7, p. 920-925, 2005. Disponível em: < http://ac-els-cdn-com.ez87.periodicos.capes.gov.br/S0958946505000594/1-s2.0-S0958946505000594-main.pdf?_tid=6a821e72-c5cf-11e6-9f07-00000aab0f02&acdnat=1482140711_9b020805e2482477d30266590f051960>. Acesso em: 19 dez 2016.

KNAPEN, E. **Microstructure in cement mortars modified with water-soluble polymers**. 2007. 220 f. Tese (Doutorado) – Katholieke Universiteit, Lovânia, 2007. Disponível em: < <https://lirias.kuleuven.be/bitstream/1979/1042/2/PhD+Elke+Knapen.pdf>>. Acesso em: 19 dez 2016.

MERLIN, F. et al. Adsorption and heterocoagulation of nonionic surfactants and latex particles on cement hydrates. **Journal of Colloid and Interface Science**, Maryland Heights, v. 281, n. 1, p. 1-10, 2005. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S0021979704007556/1-s2.0-S0021979704007556-main.pdf?_tid=28c5ebe0-c5ce-11e6-8ddd-00000aab0f26&acdnat=1482140172_55e11ab08c352b0a871ee99cd63c64a3> Acesso em: 19 dez. 2016.

MOSCHETTI, R.; **Pavimento de concreto gera economia de energia**. São Paulo: ABCP, 2011. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/pavimento-de-concreto-gera-economia-de-combustivel-2>>. Acesso em: 2 fev. 2016

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994. 573 p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997. 828 p.

MELO NETO, A. A.; HELENE, P. R. L. **Módulo de elasticidade: dosagem e avaliação de modelos de previsão do módulo de elasticidade de concretos**. Belo Horizonte: [s.n.], 2002. Disponível em: http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/11006892/iii057-ibracon%202002.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1488812710&Signature=pZw7NWGODFJ381bzFmSzKljOpH8%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DModulo_de_elasticidade_dosagem_e_avaliac.pdf> Acesso em: 6 mar. 2017.

NIVELLE, A. M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2013. 447 p. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=cqY5AgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR4&dq=coNCRETO+LEVE+Á+BASE+D+E+ARGILA+EXPANDIDA&ots=RVsMAABYY&sig=jGjgnX5k7asPJk8cUccsRErBZAM#v=onepage&q=coNCRETO+LEVE+Á+BASE+DE+ARGILA+EXPANDIDA&f=false>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

OHAMA, Y. **Handbook of polymer-modified concrete and mortars: properties and process**. Tokio: Technology Koriyama, 1995. 246 p.

PALHARES, R. A.; BRASIL, L.H.; COSTA, A. G. Tecnologia do concreto contendo polímeros. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA - CONTECC, 72. 2015, Fortaleza. **Congresso...** - Fortaleza: [s.n.], 2015. Disponível em:< http://www.confea.org.br/media/Civil_tecnologia_do_concreto_contendo_polimeros.pdf>. Acesso em 19 dez. 2016.

PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de cimento portland**. 7. ed. Porto Alegre: Globo, 1980. 307 p.

PIMENTA, D.S.; **Produção de concreto convencional com a utilização de pó de brita**. 2012. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

PIMENTEL, L. L. **Avaliação de compósitos biomassa vegetal: cimento modificado por polímero**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2005. Disponível em: <http://abes-dn.org.br/publicacoes/rbciamb/PDFs/01-08_artigo_3_artigos141.pdf>. Acesso em: 13 maio 2016.

SANTOS, J. M. R.; **Materiais utilizados na construção de pavimentos rodoviários**. 2010. 111 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade de Aveiro, Aveiro, 2010.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: PINI, 1997. 174 p.

SOUZA, R.; TAMAKI, M. R. **Especificação e recebimento de materiais de construção**. São Paulo: Centro de Tecnologia de Edificações. 2001. 101 p.

WEBER saint gobain produtos quartzolit. Jandira: Saint Gobain, 2017. Disponível em: <<http://www.weber.com.br/impermeabilizantes/produtos/aditivos-para-argamassa/aditivo-chapix-sbr-quartzolit.html>>. Acesso em: 20 out. 2016.

ZOKAEI-ASHTIANI, A.; CARRASCO, C.; NAZARIAN, S. Finite element modeling of slab–foundation interaction on rigid pavement applications. **Computers And Geotechnics**, Texas, v. 62, p.118-127, ago. 2014. Disponível em: < [KIM, S.; CEYLAN, H.; GOPALAKRISHNAN, K. Finite element modeling of environmental effects on rigid pavement deformation. **Frontiers of Structural and Civil Engineering**, Iowa, v. 8, n. 2, p.101-114, maio 2014. Disponível em:< \[http://download.springer.com/static/pdf/192/art%253A10.1007%252Fs11709-014-0254-0254-x.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.1007%2Fs11709-014-0254-0254-x&token2=exp=1482088971~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F192%2Fart%25253A10.1007%25252Fs11709-014-0254-x.pdf%3ForiginUrl%3Dhttp%253A%252F%252Flink.springer.com%252Farticle%252F10.1007%252Fs11709-014-0254-x*~hmac=b056bc831f407c49ada7d2c24524f98c94df711fbd7d4181ff8f1b12cccdf10f\]\(http://download.springer.com/static/pdf/192/art%253A10.1007%252Fs11709-014-0254-0254-x.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.1007%2Fs11709-014-0254-0254-x&token2=exp=1482088971~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F192%2Fart%25253A10.1007%25252Fs11709-014-0254-x.pdf%3ForiginUrl%3Dhttp%253A%252F%252Flink.springer.com%252Farticle%252F10.1007%252Fs11709-014-0254-x*~hmac=b056bc831f407c49ada7d2c24524f98c94df711fbd7d4181ff8f1b12cccdf10f\)>Acesso em: 5 out. 2016.](http://link-periodicos-capes-gov-br.ez87.periodicos.capes.gov.br/sfxlcl41?frbrVersion=6&ctx_ver=Z39.88-2004&ctx_enc=info:ofi/enc:UTF-8&ctx_tim=2016-12-18T13%3A05%3A26IST&url_ver=Z39.88-2004&url_ctx_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:ctx&rft_id=info:sid/primo.exlibrisgroup.com:primo3-Article-sciversesciencedirect_elsevier&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:journal&rft.genre=article&rft.atitle=Finite%20element%20modeling%20of%20slab%E2%80%93foundation%20interaction%20on%20rigid%20pavement%20applications&rft.jtitle=Computers%20and%20Geotechnics&rft.btitle=&rft.aulast=Zokaei-Ashtiani&rft.auinit=&rft.auinit1=&rft.auinitm=&rft.ausuffix=&rft.au=Zokaei-Ashtiani,%20Ali&rft.aucorp=&rft.date=201410&rft.volume=62&rft.issue=&rft.part=&rft.quarter=&rft.ssn=&rft.spage=118&rft.epage=127&rft.pages=118-127&rft.artnum=&rft.issn=0266-352X&rft.eissn=&rft.isbn=&rft.sici=&rft.coden=&rft_id=info:doi/10.1016/j.compgeo.2014.07.003&rft.object_id=&svc_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:sch_svc&rft.eisbn=&rft_dat=%3Csciversesciencedirect_elsevier%3ES0266-352X(14)00126-8%3C/sciversesciencedirect_elsevier%3E%3Cgrp_id%3E5403596380750737901%3C/grp_id%3E%3Coa%3E%3C/oa%3E%3Curl%3E%3Curl%3E&rft_id=info:oai/&svc.fulltext=yes&req.language=por >. Acesso em: 5 out. 2016.</p>
</div>
<div data-bbox=)