



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DOS MATERIAIS

INCORPORAÇÃO DE GOMA DE CAJU EM CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL (CAA)
PARA GANHO DE RESISTÊNCIA

Patrício da Silva Lima

Orientadora: Profª. Drª. Durcilene Alves da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Barbosa Furtini

Teresina - Piauí

2017

PATRÍCIO DA SILVA LIMA

**INCORPORAÇÃO DE GOMA DE CAJU EM CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL (CAA)
PARA GANHO DE RESISTÊNCIA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais da Universidade Federal do Piauí – UFPI, como requisito complementar à obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia dos Materiais.

ORIENTADOR: Prof^ª. Dr^ª. Durcilene Alves da Silva
COORIENTADOR: Prof. Dr. Marcelo Barbosa Furtini

Teresina-Piauí

2017

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Serviço de Processamento Técnico

L732i Lima, Patrício da Silva.

Incorporação de goma de cajueiro em concreto auto-adensável (CAA) para ganho de resistência / Patrício da Silva Lima. – 2017.

76f.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.

“Orientação: Prof. Dra. Durcilene Alves da Silva.”

“Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Barbosa Furtini.”

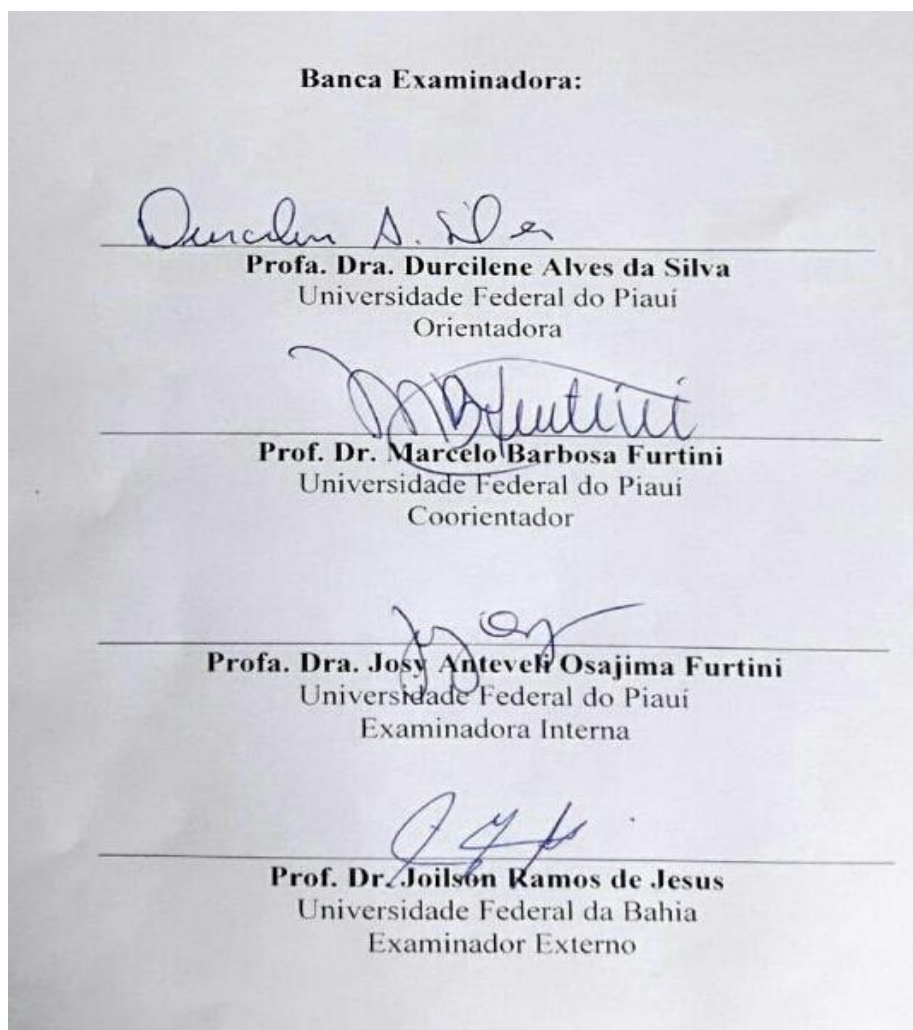
1. Concreto. 2. Goma de Cajueiro. 3. Resistência Mecânica.
I. Título

CDD: 693.5

**INCORPORAÇÃO DE GOMA DE CAJU EM CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL (CAA)
PARA GANHO DE RESISTÊNCIA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais da Universidade Federal do Piauí – UFPI, como requisito complementar à obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia dos Materiais.

Aprovada em: 28.09.2017



DEDICATÓRIA

**Dedico este trabalho a minha família e amigos pelo incentivo, carinho e
companheirismo.**

AGRADECIMENTOS

- ✓ Agradeço primeiramente ao amado Pai, autor e senhor da vida, pela graça, sabedoria e força concedidas para a realização e conclusão de mais esta etapa;
- ✓ À minha orientadora, Profª. Dra. Durcilene Alves da Silva, pelo profissionalismo e competência, pela confiança, paciência e orientação no decorrer deste trabalho;
- ✓ Ao meu coorientador e maior incentivador, Prof. Dr. Marcelo Barbosa Furtini, pela amizade, confiança, paciência e sugestões para o aprimoramento deste trabalho;
- ✓ À Profª. Dra. Josy Anteveli Osajima, pela confiança, paciência, amizade e orientação no decorrer deste trabalho;
- ✓ Aos demais professores do LIMAV e do Programa: Profª. Carla Eiras, Prof. Bartolomeu Viana e Prof. Rômulo Magalhães pelas contribuições diretas e indiretas para minha formação;
- ✓ Ao técnico do LIMAV Edgar Alves Araújo Júnior pela colaboração;
- ✓ Ao Eng.º Civil João Batista de Oliveira Libório Dourado, do Departamento de Construção Civil e Arquitetura da UFPI (DCCA-CT), pelo apoio para realização deste trabalho;
- ✓ Aos meus colegas da Turma de Mestrado pelo apoio, incentivo e colaboração;
- ✓ Aos meus familiares, especialmente à minha mãe Maria das Graças de Sousa Lima (*in momorian*), meu pai Francisco de Sousa Lima (*in memorian*), meus filhos João Artur e Pedro Arthur;
- ✓ Ao meu segundo Pai, José Francisco Sady Júnior, cujo cuidado, confiança, apoio e incentivo foram essenciais para a realização deste trabalho;
- ✓ Aos meus amigos: Marla Tarsila Furtado Rocha, Débora Blenda Castelo Branco e a toda equipe da J.S. Engenharia pela confiança, incentivo e apoio direto ou indiretamente para realização deste trabalho;
- ✓ A todos que direta ou indiretamente participaram da realização deste trabalho. Obrigado!

*“Comece fazendo o que é necessário,
depois o que é possível, e de repente
você estará fazendo o impossível.” São
Francisco de Assís.*

RESUMO

O concreto auto-adensável-CAA trata-se de uma evolução dos diversos tipos de concreto existentes na construção civil, no qual permite o lançamento de concreto em fôrmas, sem a utilização de vibração ou compactação externa. A utilização dessa tipologia em diversos países representa um importante avanço na tecnologia do concreto nas últimas décadas. Entre suas características, pode-se ressaltar o aumento da produtividade, melhora do ambiente construtivo e contribuição da tecnologia sustentável do concreto, sendo caracterizado como um material ambientalmente amigável. O estudo abordado trata-se da viabilidade da adição de materiais naturais como a goma de cajueiro (*Anacardium Occidentale L.*), incorporado ao concreto auto-adensável (CAA), afim de aperfeiçoar suas propriedades mecânicas através da cura proveniente da redução da perda de água nos interstícios capilares do concreto favorecido pela incorporação da goma na mistura do concreto, dando ao mesmo um aumento considerável em sua resistência mecânica, além do fator sustentabilidade devido à redução de até 40,28% do fator água/cimento.

Palavras-chave: Goma de Cajueiro, Concreto, Resistência Mecânica.

ABSTRACT

The self-compacting-CAA concrete is an evolution from different types of existing concretes in the field of civil engineering, which allows the spreading of concrete onto molds without using vibration or external compaction. The use of such typology in many countries represents an improvement for the technology of the concrete over the last decades. Among its characteristics worth being highlighted are the increase in the productivity, improvement on the construction environment and the contribution to the sustainable technology of the concrete, what allows it to be labeled as an environmentally friendly material. The present study deals with the feasibility of adding natural materials such as cashew gum (*Anacardium occidentale* L.), incorporated into self-compacting concrete (CAA), in order to improve its mechanical properties through water in the capillary interstices of the concrete favored by the incorporation of the gum in the concrete mixture, giving it a considerable increase in its mechanical resistance, besides the sustainability factor due to the reduction of up to 40,28% of the water / cement factor.

Keywords: Cashew Gum, Concrete, Mechanical Resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fotografia da árvore do cajueiro ^(a) e exsudato do cajueiro ^(b, c, d) (<i>Anacardium occidentale</i> L.)	21
Figura 2 – Obras executadas com CAA: (a) Ponte Akashi Kaikyo, Japão; (b) Elementos arquitetônicos com CAA; (c) Museu Iberê Camargo, Porto Alegre, Brasil	29
Figura 3 – Resultados da resistência à compressão do CAA com diferentes tipos de adições	34
Figura 4 – Etapas do processo de preparação do exsudado de cajueiro (<i>anacardium occidentale</i> L.).....	41
Figura 5 – Cilindros de moldagem $\varnothing 10 \times 20$ cm: (a) vista superior-diametral; (b) vista lateral-altura	43
Figura 6 – Representação gráfica da curva de inchamento do agregado muído	48
Figura 7 – Curva termogravimétrica e DTG da goma de cajueiro isolada.....	52
Figura 8 – Ensaio de abatimento (<i>slump test</i>)	54
Figura 9 – Confecção de corpos de prova com diâmetro de 10 e altura de 20cm	54
Figura 10 – Gráfico de tensão (MPa) x Tempo (s) para CPsA com idade de 7 dias	56
Figura 11 – Gráfico de tensão (MPa) x Tempo (s) para CPsA com idade de 14 dias	57
Figura 12 – Gráfico de tensão (MPa) x Tempo (s) para CPsA com idade de 28 dias	58
Figura 13 – Gráfico de tensão (MPa) x Tempo (s) para CPcA com idade de 7 dias	59
Figura 14 – Gráfico de tensão (MPa) x Tempo (s) para CPcA com idade de 14 dias	60
Figura 15 – Gráfico de tensão (MPa) x Tempo (s) para CPcA com idade de 28 dias	61
Figura 16 – Gráfico de tensão (MPa) x Tempo (s) para CPcG com idade de 14 dias	62
Figura 17 – Gráfico de tensão (MPa) x Tempo (s) para CPcG com idade de 28 dias	63
Figura 18 – MEV do concreto puro (CPsA).....	65
Figura 19 – MEV do concreto com adição de exsudado de cajueiro (CPcG).....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantidade de corpos de prova e tempo de cura.....	44
Tabela 2. Ensaio de granulometria do agregado miúdo (areia).....	46
Tabela 3. Limite de distribuição granulométrica do agregado miúdo.	47
Tabela 4. Limite de distribuição granulométrica do agregado graúdo (brita 0).....	49
Tabela 5. Limite de distribuição granulométrica do agregado graúdo.....	50
Tabela 6. Caracterização física e mecânica do CP-II-Z-32.....	50
Tabela 7. Caracterização do cimento Portland CP-II-Z-32.....	51
Tabela 8. Resultado da dosagem racional do concreto (ABNT NBR 12655/82).....	53
Tabela 9. Traço padrão determinado para as amostras.....	53
Tabela 10. Resultado dos rompimentos dos CPsA com idade de 7 dias.....	55
Tabela 11. Resultado dos rompimentos dos CPsA com idade de 14 dias.....	56
Tabela 12. Resultado dos rompimentos dos CPsA com idade de 28 dias.....	57
Tabela 13. Resultado dos rompimentos dos CPcA com idade de 7 dias.....	58
Tabela 14. Resultado dos rompimentos dos CPcA com idade de 14 dias.....	59
Tabela 15. Resultado dos rompimentos dos CPcA com idade de 28 dias.....	60
Tabela 16. Resultado dos rompimentos dos CPcG com idade de 14 dias.....	61
Tabela 17. Resultado dos rompimentos dos CPcG com idade de 28 dias.....	63
Tabela 18. Comparativo dos resultados de rompimentos dos corpos de prova.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CAA = Concreto Auto-Adensável

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR = Norma Brasileira

ABCP = Associação Brasileira de Cimento Portland

TGA = Análise Termogravimétrica

MPa = Mega Pascal (1MPa = 10,1972kgf/cm²)

°C = Grau Celsius

sd = Desvio Padrão

CP's = Corpos de prova

CPsA = Corpos de prova sem aditivo

CPcA = Corpos de prova com aditivo comercial

CPcG = Corpos de prova com goma de cajueiro

kgf = Quilograma-força

kN = Quilo-newton (1kN = 101,97kgf)

p.p.m= partes por milhão

µm=micrometro (1 µm = 1 × 10⁻⁶ m)

CP II-Z 32 = Cimento Portland com Pozolana

Fc28 = Resistência característica do concreto a compressão aos 28 dias

MEV=Microscopia eletrônica de varredura

m/v=razão de massa por volume

∅=representação de medida diametral de um material

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL X SUSTENTABILIDADE	23
2.2 CONCRETO AUTOADENSÁVEL (CAA)	25
2.2.1 HISTÓRICO	27
2.2.2 MATERIAIS QUE COMPÕEM O CAA E SUA INFLUÊNCIA SOBRE A PRODUÇÃO E AS PROPRIEDADES DESSE TIPO DE CONCRETO	30
2.2.2.1 CIMENTO	30
2.2.2.2 AGREGADOS	31
2.2.2.3 ADIÇÕES MINERAIS	32
2.2.2.4 ÁGUA	34
2.2.3 PROPRIEDADES DO CAA NO ESTADO ENDURECIDO	35
2.3 GOMA DO CAJUEIRO	36
3 MATERIAIS E MÉTODOS	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
5 CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS.....	68
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	76

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O material de construção mais utilizado no mundo é o concreto, e isso se deve à abundância de matérias primas e de um conhecimento já solidificado de sua utilização. Nos primórdios da civilização o homem utilizava em suas construções a madeira, a pedra e o barro. Com o passar do tempo, as exigências aumentaram, necessitando de materiais de maior durabilidade e resistência, surgiu também a necessidade de melhorar a aparência das construções. E assim surge o concreto, trabalhável como o barro, mas depois de um tempo adquire a resistência e rigidez da pedra (VERÇOSA, 2008).

A utilização do concreto como material de construção remonta à época dos Romanos, onde uma mistura similar, contendo cinza vulcânica e tendo como aglomerante uma mistura de cal, foram utilizadas para construir notáveis obras de engenharia (TUTIKIAN, 2004).

Numerosos estudos foram realizados para determinar os efeitos da adição de substâncias naturais como aditivos para o cimento tendo como intuito melhorar suas propriedades, tais como durabilidade, resistência à flexão e à compressão dentre outras (H. Fathi, *et al.* 2016).

O principal componente do concreto estrutural é o aglomerante hidráulico conhecido mundialmente como cimento Portland, responsável por reunir os componentes do concreto. Para chegar as principais características do concreto estrutural, sua obtenção se dá com a hidratação do cimento, de modo que a pasta resultante possa envolver e aderir aos sólidos inertes presentes (Carvalho, *et al.* 2014).

Existem cerca de cinco tipos básicos de cimento e três especiais. O cimento é o nome popular para o mundialmente famoso Cimento Portland – produto batizado pelo empresário Joseph Aspdin, que o descobriu em 1824, na ilha britânica de Portland. Trata-se de um pó fino com propriedades ligantes que endurece sob a ação da água e que, depois de

endurecido, mesmo que seja novamente submetido à água, não se decompõe mais (Carvalho, *et al.*, 2014).

O cimento é composto principalmente do material clínquer, uma mistura de calcário, argila e componentes químicos, diferenciado conforme a adição de outros materiais como: o gesso, que aumenta o tempo de pega; escória, que aumenta a durabilidade na presença de sulfato, mas quando em grandes quantidades, pode diminuir a resistência; argila pozolânica, que confere maior impermeabilidade ao concreto.

O concreto por sua vez é um material composto por água, cimento e agregados, podendo ser associados aditivos químicos ou componentes aditivos afim de melhorar as suas características mecânicas ou sua trabalhabilidade. As diversas misturas dos materiais compostos do concreto e suas associações entre si, resultam:

- **pasta:** cimento + água;
- **argamassa:** pasta + agregado miúdo;
- **concreto:** argamassa + agregado graúdo;
- **microconcreto:** concreto em que o agregado graúdo tem dimensões reduzidas;
- **concreto de alto desempenho:** considera-se, em geral, o concreto cuja resistência a compressão supere os 40MPa. Inicialmente, era denominado de concreto de alta resistência, mas passou a ser chamado de concreto de alto desempenho por causa da melhoria de outras propriedades que, principalmente, elevam a durabilidade das estruturas;
- **concreto auto adensável:** entende-se como Concreto Auto Adensável (CAA), o concreto capaz de preencher os espaços vazios das formas e se auto-adensar apenas sobre o efeito da gravidade e de sua própria capacidade de fluxo. O CAA é caracterizado pela grande capacidade de fluxo sem a perda da estabilidade.

Segundo Carvalho (2014, p. 17) “como o cimento é um material caro, o principal objetivo da utilização dos agregados de maiores dimensões e materiais aditivos é reduzir os custos sem que a qualidade do material seja prejudicada”.

Conforme tipo de associação entre a argamassa, o concreto e o aço, pode-se ter:

a) argamassa armada ou micro-concreto armado: obtidos por meio da associação entre argamassa simples (cimento e areia) e armadura de pequeno diâmetro e pouco espaçada, distribuída uniformemente em toda a superfície e composta, principalmente, por fios e telas de aço;

b) concreto com fibras: obtido pela adição de fibras metálicas ou poliméricas durante o preparo do concreto, fazendo com que depois de seco o concreto (matriz) esteja ligado pelas fibras (pontes) que o atravessam em todas as direções; é empregado em peças com pequenos esforços, tais como piso em concreto sobre o solo; as fibras servem também para reforçar o combate a fissuração, substituindo ou diminuindo a quantidade de armadura superficial ou estribos necessários nos elementos de concreto armado;

c) concreto armado: obtido por meio da associação entre o concreto simples e a armadura convenientemente colocada (armadura passiva), de tal modo que ambas resistam solidariamente aos esforços solicitantes;

d) concreto protendido: obtido por meio da associação entre o concreto simples e a armadura ativa – aplica-se uma força na armadura antes da atuação do carregamento na estrutura.

O concreto é obtido por meio da mistura adequada de cimento, agregado fino, agregado graúdo e água. Em algumas situações são incorporados produtos químicos ou outros componentes, como microsílca, polímeros e etc. A adição tem a finalidade de melhorar algumas propriedades, tais como: aumentar a trabalhabilidade e a resistência e retardar a

velocidade das reações químicas que ocorrem no concreto para que sejam alcançadas as propriedades desejadas, conforme finalidade a ser destinado.

Segundo Carvalho (2014, p. 25) “as diversas características que o concreto endurecido deve apresentar para que possa ser utilizado dependem fundamentalmente do planejamento e dos cuidados na sua execução. O planejamento consiste em definir, da melhor forma, as propriedades desejadas do concreto, conforme cada tipo de obra, analisar e escolher os materiais existentes ou disponíveis na natureza, estabelecendo uma metodologia para definir o traço mais adequado (proporção dos componentes), os equipamentos para uma melhor mistura, adensamento e principalmente a cura do concreto”

Algumas características do concreto são importantes para definição da qualidade final do produto, no concreto fresco são a **consistência**, a **trabalhabilidade** e a **homogeneidade**. O concreto após endurecido trata-se de um compósito que tem como característica elementos em suas diversas fases: gases, líquidos, gel e sólidos. O principal objetivo do preparo do concreto estrutural é de obter um material sólido e que tenha grande resistência e com poucos espaços vazios.

A primeira propriedade do concreto fresco é a **consistência**. A mesma corresponde a maior ou menor capacidade que o concreto fresco tem de se deformar, sendo diretamente relacionada com o transporte, lançamento e adensamento do concreto, variando de acordo com a quantidade de água empregada na mistura, granulometria dos agregados e pela presença de alguns produtos químicos específicos (Carvalho, *et al.* 2014).

Para elementos com alta taxa de armadura, o concreto com menor consistência deve ser empregado, por apresentar maior dificuldade de adensamentos. Não havendo grandes quantidades de armadura nos elementos estruturais é melhor produzir concretos com maior consistência e, em princípio, com menos água. Em elementos com eixos ou superfícies

inclinadas, tais como escadas e sapatas, o concreto deve ter a consistência menor (Carvalho, *et al.*, 2014).

Segundo Carvalho (2014, p. 26) “uma maneira de medir a consistência do concreto é por meio do abaixamento que uma quantidade predeterminada de massa, colocada em um molde metálico normatizado de forma tronco-cônica, terá quando o molde for retirado; a medida da deformação vertical é chamada de abatimento ou *slump*. A determinação da consistência do abatimento do tronco de cone é regulamentada pela ABNT NBR NM67:1998”.

A trabalhabilidade do concreto consiste em obter um *slump* muito alto, e em geral, fácil de ser lançado e adensado nos elementos estruturais. Este conceito está ligado diretamente na maneira de efetuar seu adensamento. Atualmente existem os chamados concreto “auto-adensáveis” que são quase fluídos e não necessitam, em princípio, de nenhuma forma de energia para seu adensamento, formando por si só um conjunto homogêneo e com características de resistência requerida.

O concreto auto adensável-CAA foi desenvolvido no Japão, no ano de 1986, na Universidade de Tokyo, com o objetivo de concretar estruturas com formas mais complexas e com alta taxa de armaduras sem prejudicar a qualidade e durabilidade do concreto e com uma menor demanda de mão de obra. Devido às características de coesão, fluidez e resistência à segregação e de não apresentar a necessidade de adensamento mecânico, ou seja, este concreto possui a capacidade de contornar e se moldar a estruturas complexas devido apenas ao seu peso. Ao longo dos anos o concreto auto adensável-CAA vem conquistando a aceitação na indústria da construção civil por sua versatilidade (GOMES, 2002).

Conforme Neville e Brooks (2013), para a classificação e determinação de um concreto auto adensável-CAA é necessário atender três características essenciais em uma mesma mistura: fluidez, coesão e resistências a segregação. No entanto, o uso de aditivos

superplastificantes é necessário para obter uma alta fluidez, a adição mineral e a uma incorporação mais ricas em agregados de granulometria mais fina garantem a coesão e a resistência a segregação.

Esses concretos são obtidos com a incorporação de aditivos (compostos químicos especiais que alteram algumas propriedades dos materiais componentes na mistura) e não por meio do aumento da quantidade de água, que alteraria a relação água/cimento, causando considerável diminuição da resistência e elevando a porosidade (Carvalho, *et al.* 2014). Afim de reduzir estes inconvenientes nas concretagens de elementos chamados esbeltos é necessário a incorporação de aditivos químicos ou naturais para retardar a evaporação precoce da água existentes nos poros dos elementos estruturais, e conseqüentemente, a perda de resistência devido a cura inadequada.

As gomas exsudadas são polímeros naturais, formados por unidades de monossacarídeos produzidos pelas células epiteliais de plantas quando agredidas por ataques físicos ou microbiano. A produção do exsudado gomoso é um mecanismo de defesa destas plantas que crescem em áreas semiáridas como de regiões tropicais. A Goma de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é exsudada de cajueiros, arvore altamente abundante no nordeste brasileiro, considerada um heteropolissacarídeo complexo exsudado de cajueiros (*Anacardium occidentale* L.), possuem elevados teores de ácidos e alta viscosidade (Andrade, K. C. S. *et al.* 2013).

A goma de cajueiro (*Anarcadium occidentale* L.) oriundo do exsudado da planta adulta que ocorre no tronco ou nos ramos. As exsudações só ocorrem em plantas com idade superior a dois anos, raramente em arvores mais novas. A resina tem uma coloração que varia do amarelo ao castanho, de consistência dura, solúvel em água e insolúvel no álcool e nos demais solventes orgânicos e quando tratada, forma uma solução homogênea de alto poder de colagem.

Figura 1. Fotografia da árvore do cajueiro^(a) e exsudato do cajueiro^(b, c, d) (*Anacardium occidentale* L.).



Fonte: SILVA, 2013.

O exsudato é sintetizada nas células epiteliais dos revestimentos das plantas, em seguida é excretado pelas cavidades internas. Este fenômeno de formação, em geral, ocorre em todos os órgãos da planta (MIRANDA, 2009).

Segundo Porto e Cristianini (2014) a goma de cajueiro é um dos poucos biopolímeros propostos para substituir a goma arábica por possuir propriedades semelhantes.

Outro fator importante para e um diferencial é sua alta disponibilidade na região do Nordeste do território brasileiro, que por sua vez, é geração de lucro em períodos de entressafra do caju, tendo proposta economicamente atrativa no cenário brasileiro em comparação ao custo da goma arábica (ANDRADE *et al.* 2013).

A incorporação da goma de cajueiro no composto de concreto tem como finalidade a redução do fator/água cimento sem a redução da trabalhabilidade, característica fundamental para o concreto auto adensável.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL X SUSTENTABILIDADE

A transformação de matérias-primas, principalmente barro, pedras, lã, dentre outros ocorre desde a Pré-História, tornando-se produtos essenciais para a sobrevivência do homem. O artesanato, designado por ser um método antigo de transformação de matéria-prima até um produto final (Portal Brasil, 2013).

O início da Revolução Industrial se deu nos séculos XVIII e XIX em algumas cidades européias e americanas, a criação de fábricas nas cidades se tornou uma consequência desta época. Muitas pessoas começaram a abandonar o campo para tentar trabalhar em fábricas que estavam surgindo nas cidades, devido o grande crescimento industrial e comercial.

Gerando assim, grandes aglomerações de pessoas que passaram por consequência a consumer uma elevada quantidade de alimentos, energia e espaço, proporcionando cidades superlotadas, sujas, barulhentas e com pouco ou nenhum tipo de saneamento. Com isso, ocasionou diversos problemas de urbanização: canalização de esgotos, abastecimento de água, etc.

Segundo o Worldwatch Institute (1999) citado por Moraes (2006), apenas 10% da população mundial em 1960, o que correspondia a 300 milhões de pessoas, habitava em cidades. Esse percentual subiu para cerca de 50% em apenas 40 anos,, ou seja, agora cerca de 3,2 bilhões de pessoas estavam vivendo nas cidades nos anos 2000.

Nas sociedades primitivas os impactos ecológicos não eram considerados, já que a produção de resíduos era pequena e a assimilação ambiental era grande. Após o desenvolvimento tecnológico da revolução industrial no mundo, é que esta preocupação veio à tona (BRASILEIRO, 2015).

As primeiras preocupações surgiram a partir de diversas constatações e as consequências do efeito estufa, como destruição da camada de ozônio, aumento do consumo

de energia, a poluição do ar e presença de chuvas ácidas, devido principalmente ao consumo desenfreado de matérias-primas não renováveis, geração de resíduos, dentre outros. Surgindo assim a necessidade de se fazer um desenvolvimento sustentável.

O termo desenvolvimento sustentável é definido como “aquele que permite atender às necessidades básicas de uma população, garantindo a oportunidade de proporcionar uma vida melhor para as pessoas, sem comprometer a habilidades das gerações posteriores e atender assim as suas devidas necessidades” (Chen e Chambers, 1999).

Ao desenvolvimento sustentável, segundo Leal (2008), a necessidade de se produzir a maior quantidade de bens com a menor quantidade de recursos naturais e a menor poluição é o que implica uma demanda maior, ou seja, o desenvolvimento econômico deverá ser desvinculado da geração de impactos ambientais negativos. Para conseguir esta desvinculação são necessárias várias ações:

- Consumo reduzido de matérias primas, podendo ser proporcionado pela redução e reciclagem de resíduos, substituição dos materiais tradicionais por outros mais eficientes, aperfeiçoamento de projetos;
- Redução do consumo de energia (principalmente a de combustíveis não renováveis);
- Redução global da poluição no geral.

O maior impacto sobre o meio ambiente é criado a partir da indústria da construção civil. Dos recursos naturais extraídos cerca de 50% estão relacionados à atividade de construção. Sendo responsável por aproximadamente 15% do produto interno bruto (PIB) brasileiro, com investimentos que ultrapassam cerca R\$ 90 milhões por ano, geração empregos indiretos e diretos, contribuindo dessa forma para a redução do déficit habitacional e da infraestrutura, indispensável ao progresso (Dias, 2004; Morais, 2006).

A construção civil tem uma papel de suma importância na economia nacional, porém apresenta-se como um dos grandes vilões ambientais. Sendo considerado o maior consumidor

de matérias-primas (de 15 a 50% de recursos totais consumidos na sociedade), gerando processos de elevado consumo de energia, geração de poluição em diversas partes de seus processos, por exemplo, desde a extração de matérias-primas até a produção de produtos de consumo como cimento e concreto. São inúmeros impactos ambientais na fase de desenvolvimento e utilização de edifícios (Leal, 2008).

Para minimizar os impactos ambientais da indústria da construção, Kilbert (1994) propôs os seguintes princípios:

- I. O consumo de recursos deve ser minimizado: uma solução para minimizar a produção de resíduos deve ser a utilização de um tempo maior na fase de planejamento e projeto com o objetivo de otimizar o uso de materiais;
- II. Preferência para recursos renováveis e recicláveis: optando por materiais recicláveis ou cujas fontes de matéria-prima sejam renováveis;
- III. Proteção do meio-ambiente: evitando principalmente a utilização de materiais cuja extração de matéria-prima cause danos ambientais, reusar águas servidas, etc.;

A sustentabilidade da indústria da construção ainda é um desafio distante e difícil de ser alcançado. Porém, vale entender que o primeiro passo rumo à sustentabilidade já foi designado com a implantação de leis e resoluções que demonstram uma efetiva preocupação com a gestão dos resíduos, tendo o objetivo de uma indústria da construção sustentável seja alcançado.

2.2 CONCRETO AUTOADENSÁVEL (CAA)

O concreto autoadensável (CAA) é designado por ser um concreto especial, sendo uma mistura capaz de fluir através das formas, passando pelos obstáculos e preenchendo os vazios, mantendo-se homogêneo apenas com a ação de seu peso próprio, sem a necessidade

de vibração externas (ROLS *et al.*, 1999; GOMES, 2002; EFNARC, 2005; MENEZES, 2006; SHI *et al.*, 2015; NAGARATNAM *et al.*, 2016).

Segundo o EFNARC (2002), o concreto para ser considerado autoadensável precisa apresentar três propriedades:

- capacidade de preenchimento;
- habilidade passante;
- resistência à segregação.

Propriedade que mais caracteriza a habilidade do CAA é a capacidade de preenchimento e de fluir ao longo das formas, podendo assim preencher os espaços entre as armaduras. O mecanismo que governa esta propriedade é a alta fluidez e coesão da mistura (GOMES, 2002).

A capacidade de escoar pela forma é relacionada pela habilidade passante, podendo passar através das armaduras sem obstrução de fluxo e segregação (MARQUES, 2011). Para Gomes (2002), esta propriedade depende de viscosidade moderada da mistura e da dimensão máxima característica do agregado graúdo.

A capacidade do concreto se manter uniforme ao longo do percurso está relacionada pela resistência à segregação, não havendo separação de seus constituintes. A resistência à segregação é influenciada principalmente pela viscosidade e coesão do CAA (GOMES, 2002).

O CAA foi considerado uma das grande descoberta para o campo da construção. Segundo Gomes (2002), o CAA tem a capacidade de aumenta a produtividade, reduzindo a mão de obra e melhora consequentemente o ambiente de trabalho. Giroto (2012) afirma que a garantia de adensamento do concreto, mesmo em locais de alta concentração de armaduras, diminuição de ruído, devido a não utilização de vibradores, e rapidez de aplicação foi um dos fatores principais para o desenvolvimento e aplicação do concreto auto-adensável. O CAA é

uma evolução dos concretos especiais, na medida em que traz benefícios econômicos, tecnológicos e ambientais (MELO, 2005).

2.2.1 HISTÓRICO

No Japão, final da década de oitenta teve o surgimento do CAA, ocasionado principalmente pela perda de qualidade em estruturas de concreto, onde falhas de concretagem é uma das causas, combinado com a deficiência no adensamento e de uma enorme quantidade de armaduras que eram utilizadas com o objeto de suportar os abalos sísmicos frequentes nessa região. Além disso, a falta de trabalhadores especializados para executar o adensamento adequado do concreto levou à criação de um concreto sem necessidade de vibração (OKAMURA; OUCHI, 2003; REPETTE, 2011). Segundo Marques (2011), o CAA foi também desenvolvido para garantir a durabilidade das estruturas, através da qualidade do processo de construção.

O uso dos aditivos superplastificantes, principalmente os de terceira geração, permitiu o surgimento de concretos mais fluidos, com maiores resistências e menor quantidade de cimento. Assim, os estudos foram direcionados para a trabalhabilidade do concreto. O primeiro CAA foi desenvolvido por Ozawa, em 1988, na Universidade de Tóquio, a partir dos estudos de Okamura (BARROS, 2008; GOMES, 2002; MARQUES, 2011; OKAMURA, 2003; TUTIKIAN, 2004). Desde então, o CAA vem sendo difundido e utilizado no mundo inteiro. De acordo com Ouchi *et al.* (2003), a partir do ano 2000, no Japão, a quantidade deste tipo de concreto utilizado na indústria de pré-moldados e usinas de concreto foi cerca de 400.000 m³.

Segundo Corinaldesi e Moriconi (2011), o desenvolvimento do CAA é considerado um marco na tecnologia do concreto devido a várias vantagens como:

- As propriedades no estado fresco e endurecido, como alta fluidez e resistência à

segregação, alta resistência mecânica, dentre outras, possuem um bom desempenho para utilização.

- Racionalização dos processos produtivos (elementos estruturais mais complexos, com menores seções e alta densidade de armaduras);
- Economia devido à facilidade de aplicação (velocidade de execução, redução de mão de obra, energia e custos com equipamentos);
- Melhoria nas condições ambientais (utilização de adições provenientes de subprodutos de outras indústrias, diminuição do ruído e melhoria nas condições do ambiente de trabalho).

Economia de energia elétrica e mão de obra, além da redução significativa do ruído que prejudica a saúde do operário são algumas vantagens que a eliminação da vibração pode ocasionar. Outro ponto positivo da ausência de adensamento é o aumento da vida útil das formas. A praticidade e os benefícios em saúde e segurança tornam o CAA uma solução adequada para a indústria de pré-moldados, principalmente, e da construção civil (MANUEL, 2005). Outra vantagem do CAA é a redução do custo final da obra quando são mensurados os ganhos com o uso deste concreto (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Calado *et al.* (2016) estudaram a viabilidade econômica do CAA em comparação ao concreto convencional. Os autores verificaram que o custo do CAA em relação aos materiais componentes, lançamento, transporte, adensamento e acabamento são similares ao do concreto convencional.

Todavia, o CAA também apresenta algumas desvantagens: maior necessidade de controle durante sua aplicação, maior controle tecnológico, menor tempo de aplicação que o concreto convencional, maior controle no transporte para evitar a segregação (LISBÔA, 2004).

Segundo Melo (2005), o campo de aplicação do CAA corresponde às obras onde há

impossibilidade de realizar o adensamento, compreendendo elementos de formas complexas e de alta densidade de armaduras, obras de grandes dimensões, devido à velocidade de execução, eliminação do adensamento e a qualidade final do concreto, e em obras onde é necessária a diminuição do ruído. O CAA é utilizado, geralmente, em pontes, túneis, barragens, indústrias de pré-moldados, regiões de abalos sísmicos, trabalhos de recuperação de estruturas com alta densidade de armaduras, tanques e elementos de construção vertical.

Dentre as obras executadas com o CAA, pode-se citar ponte Akashi Kaikyo, de 1998, no Japão (Figura 2a), onde houve uma redução significativa no seu tempo de execução da obra (OUCHI, 2001). Na indústria de pré-moldados foram confeccionados elementos arquitetônicos utilizando o CAA branco. De acordo com Tutikian (2007), ocorreu uma melhor distribuição da cor devido à melhor homogeneidade do CAA (Figura 2b).

No Brasil, os estudos com o CAA começaram no início do ano 2000 (MARQUES *et al.*, 2009). A primeira concretagem com CAA foi realizada em 2004, em Goiânia (GIROTTI, 2012). Em Porto Alegre, na obra do Museu Iberê Camargo, inaugurado em maio de 2008, também foi utilizado o CAA (Figura 2c).

Figura 2. Obras executadas com CAA: (a) Ponte Akashi Kaikyo, Japão (Fonte: Adaptado de ENGENHARIA ONLINE, 2011); (b) Elementos arquitetônicos com CAA (Fonte: Adaptado de TUTIKIAN, 2007); (c) Museu Iberê Camargo, Porto Alegre, Brasil (Fonte: Adaptado de FUNDAÇÃO IBERÊ CAMARGO, 2003).



(a)



(b)



(c)

2.2.2 MATERIAIS QUE COMPÕEM O CAA E SUAS POSSIVEIS INFLUÊNCIAS NA PRODUÇÃO DO CONCRETO

Os mesmos materiais empregados no concreto convencional são utilizados na produção do CAA, diferindo apenas pelo elevado teor de finos (cimento e adições minerais) na sua composição e uma maior quantidade de aditivos superplastificantes e/ou agentes modificadores de viscosidade (REPETTE, 2011).

A redução da quantidade e da dimensão máxima característica do agregado graúdo é outro fato importante que diferencia do CAA dos demais (GOMES, 2002). Estas características tornam a microestrutura do CAA mais uniforme e sua zona de transição menos porosa que a do concreto convencional. Nesse item serão discutidos os materiais constituintes do CAA e suas características.

2.2.2.1 CIMENTO

De acordo com o EFNARC (2005), para a produção de CAA pode ser utilizado qualquer tipo de cimento. Entretanto, deve ser considerado a importância do teor de aluminato tricálcico (C_3A), a granulometria do cimento e sua capacidade de adsorver os aditivos empregados na composição da mistura. A perda rápida de fluidez do CAA é gerada principalmente com o aumento de teores de C_3A (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008). Segundo Fochs (2011), quanto maior a quantidade de C_3A no cimento, maior será a quantidade de aditivo superplastificante que será necessária se utilizar para atingir uma baixa tensão de escoamento. O EFNARC (2005) recomenda o uso de cimentos com teores de C_3A inferiores a 10%, para garantir a adequada adsorção do aditivo na superfície do grão e otimização do seu desempenho.

Em relação à granulometria, quanto maior a superfície específica do cimento maior a colisão entre as partículas, reduzindo a tensão de escoamento e aumentando a viscosidade da

mistura (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

O EFNARC (2002) estabelece um consumo de cimento na faixa entre 350 a 500kg/m³, pois consumos superiores podem causar retração. Consumos inferiores a 350kg/m³, só são possíveis com a inclusão de outros finos, como adições minerais. Devido a este fato, no CAA é comum o uso de cimento mais uma adição mineral (composição binária) ou com dois tipos de adições minerais (composição ternária) (MELO, 2005).

2.2.2.2 AGREGADOS

As principais propriedades do CAA, como fluidez, resistência à segregação e habilidade passante são garantidas pela diminuição da porcentagem e dimensão máxima, características dos agregados graúdos. Segundo Melo (2005), o volume total de agregados e o proporcionamento entre os agregados graúdos e miúdos influenciam muito as propriedades reológicas do CAA. A quantidade de partículas dentro da mistura determina a distância entre elas, diminuindo a fricção interpartícula e contribuindo para a fluidez do concreto (MORAES, 2010).

Para alguns pesquisadores, as principais características do agregado graúdo que influenciam as propriedades do CAA no estado fresco são a dimensão máxima e o volume (GOMES, 2002; KRAENKEL *et al.*, 2009; LEITE, 2007; OUCHI, 2001; JAWAHAR *et al.*, 2012). Beygi *et al.* (2014) verificaram que a dimensão máxima do agregado afeta o comportamento da ruptura neste tipo de concreto.

Para Gomes e Barros (2009), o volume de agregado graúdo no CAA deve variar de 28 a 35% do volume total de concreto e deve ser usada uma relação agregado graúdo/concreto de 32 a 40%, em massa. O volume de agregado miúdo deve variar entre 40 e 50% do volume da argamassa.

A forma e dimensão dos agregados também desempenham um papel importante na produção do CAA. Conforme o EFNARC (2002), a dimensão máxima característica do

agregado deve ser 20mm e as partículas dos agregados com diâmetro inferior a 0,125mm contribuem para o teor de finos. O agregado deve apresentar composição granulométrica contínua, pois produz misturas com menor consumo de materiais finos e água, ocasionando melhoria na durabilidade (EFNARC, 2002). Para Moraes (2010), deve-se utilizar uma maior quantidade de finos ou utilizar aditivos modificadores de viscosidade no CAA, com o objetivo de minimizar os efeitos da má distribuição granulométrica dos agregados.

Segundo levantamento realizado por Zende e Khadirnaikar (2014), os agregados arredondados são os preferidos para a produção do CAA, porque aumentam a fluidez da mistura para um teor menor de cimento, quando comparados aos agregados angulares.

Em seu estudo, Melo (2005) pode verificar uma composição ideal entre os agregados miúdos e graúdos. Fazendo uma adequação das curvas granulométricas dos agregados utilizados em sua pesquisa, comparadas a uma faixa granulométrica obtida através de curvas usuais dos agregados utilizados para produção do CAA, apresentadas na literatura. Melo (2005) verificou que, para o agregado miúdo, as composições satisfatórias são de 20% de areia fina e 80% de areia média, e, para o agregado graúdo, 30% de brita 0 ($D_{máx}=12,5\text{mm}$) e 70% de brita 1 ($D_{máx}=19\text{mm}$).

2.2.2.3 ADIÇÕES MINERAIS

Com o objetivo de aumentar a quantidade de finos, são utilizadas na produção do CAA uma quantidade de adições minerais, sem o aumento do consumo de cimento na massa, podendo assim melhorar a coesão e resistência à segregação do concreto (EFNARC, 2005; REPETTE, 2011). O uso de adições minerais, nas misturas de concreto, tende a melhorar a estrutura interna da pasta cimentícia e da zona de transição agregado/pasta. As adições podem reduzir a porosidade capilar do concreto e diminuem o calor de hidratação, que é responsável pelas fissuras de origem térmica. Além disso, as adições podem reduzir a exsudação e

segregação do concreto em função do maior volume de finos (MELO, 2005; VITA *et al.*, 2010).

O conhecimento das características físicas (tamanho médio, superfície específica, forma e densidade das partículas) e das características químicas (reatividade) da adição a ser utilizada na composição do CAA é necessário para obter uma dosagem adequada dos finos (VITA *et al.*, 2010). Segundo Barros (2008), a viscosidade da mistura aumentará quanto maior for a superfície específica das adições.

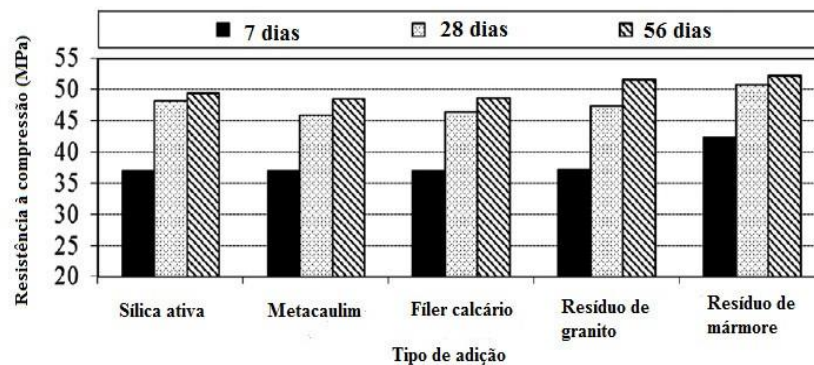
A influência de diferentes adições minerais, por exemplo, microssílica, metacaulim e fíler calcário, foram analisadas por Vita *et al.* (2010) no nível de comportamento reológico e na fluidez do CAA, e verificaram que as características físicas e químicas das adições proporcionaram comportamentos diferentes de fluidez, tensão de cisalhamento e viscosidade.

As adições pozolânicas e os fileres são bastante utilizados na fabricação do CAA, sendo o fíler calcário, a cinza volante, a escória de alto forno e a sílica ativa os mais empregados (DESNERCK *et al.* 2014). Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), as adições pozolânicas ultrafinas (sílica ativa, metacaulim, cinza da casca de arroz) contribuem mais eficazmente para o aumento da coesão, resistência e durabilidade do CAA. Para Tutikian e Dal Molin (2008), a incorporação de fíler no CAA deve ser feita pela substituição do agregado miúdo, devido à maior finura deste material, melhorando o empacotamento do esqueleto granular e a coesão das misturas.

Elyamany, Elmoaty e Mohamed (2014) estudaram o efeito do tipo de adição nas propriedades físicas, mecânicas e microestruturais do CAA. No estudo, utilizaram sílica ativa e metacaulim (adições tipo pozolânicas), e fíler calcário, resíduo de granito e resíduo de mármore (adições tipo fileres). Os autores observaram que o tipo e teor de adição influenciam as propriedades do CAA no estado fresco: as adições tipo fíler reduziram a segregação e exsudação da mistura em comparação às misturas com as adições pozolânicas.

Na figura 3 é possível perceber que a adição do tipo filler não possui uma influência significativa na resistência do concreto à compressão. Em relação à microestrutura, as misturas com adições tipo pozolânicas apresentam uma menor quantidade de hidróxido de cálcio e etringita comparadas às misturas com adições do tipo filler.

Figura 3. Resultados da resistência à compressão do CAA com diferentes tipos de adições.



Fonte: ELYAMANY; ELMOATY; MOHAMED, 2014.

Mendes (2015) estudou misturas de concreto vibrado em mesa vibratória em comparação com o CAA com diferentes teores de cinza da casca de arroz em substituição ao cimento. Os CAA compostos com a cinza da casca de arroz obtiveram resultados satisfatórios no estado fresco, a microestrutura das misturas com a cinza da casca de arroz apresentou uma melhor zona de transição contribuindo para o melhor desempenho mecânico quando comparadas ao concreto vibrado.

2.2.2.4 ÁGUA

Conforme o EFNARC (2002), a água, para a produção de CAA, deve atender os mesmos requisitos de qualidade da água usada no concreto convencional. A demanda de água é calculada em função da relação água/finos empregada na mistura e deve estar entre 0,80 a 1,10, em volume. No caso do CAA, uma parte da água pode ser substituída pelo uso dos aditivos superplastificantes, para se manter as condições de fluidez sem alterar a resistência mecânica (MELO, 2005).

2.2.3 PROPRIEDADES DO CAA NO ESTADO ENDURECIDO

Grande quantidade de finos, alto teor de aditivo redutor de água, redução do tamanho e volume de agregado graúdo são as principais diferenças entre o CAA e o concreto convencional (ASLANI E NEJADI, 2012). Tais características afetam o comportamento do concreto no estado endurecido. A maior quantidade de finos e a menor dimensão dos agregados causam alterações no esqueleto granular, influenciando a resistência à compressão, a resistência à tração e o módulo de elasticidade (CAVALCANTI, 2006; HEMALATHA *et al.*, 2015; AKINPELU *et al.*, 2017).

Algumas propriedades costumam ser semelhante às do concreto convencional, tais como, resistência à compressão e à tração (REPETTE, 2011). Os resultados de estudos mostram que há um aumento na resistência à compressão do CAA, nas primeiras idades, comparado ao concreto convencional com mesma relação *a/c*. Este comportamento é atribuído à zona de transição melhorada do CAA (NIKBIN *et al.*, 2014).

A resistência à compressão do concreto depende de fatores como a relação *a/c*, composição da mistura, propriedades mecânicas da pasta de cimento e sua adesão na zona de transição, tempo de hidratação, propriedades dos agregados, entre outras (NEVILLE; BROOKS, 2013). Em seu estudo, Domone (2007) observou que o tipo e teor de finos afetam mais a resistência à compressão do CAA do que a relação *a/c*.

Nikbin *et al.* (2014) avaliaram a influência da relação *a/c* e o teor de finos nas propriedades mecânicas do CAA. Além disso, verificaram se as relações e deduções do concreto convencional são aplicáveis no CAA. Para isso, utilizaram dezesseis misturas de CAA com diferentes relações *a/c* e teor de finos. Foi verificado que o aumento da relação *a/c* de 0,35 para 0,70 proporcionou uma queda nos valores da resistência à compressão em 66%, o mesmo acontecendo com a resistência à tração que diminuiu 51%, e o valor do módulo de elasticidade reduziu em 44%.

2.3 GOMA DO CAJUEIRO

As gomas são materiais poliméricos de fonte natural, com formação de unidades de monossacarídeos de maneira linear ou ramificado, pertencendo a classe dos carboidratos. Possuem características, tais como, não tóxicas, amorfas, inodoras, translúcidas, hidrofílicas, propriedades coloidais, emulsificantes, estabilizantes e aglutinantes. Possuindo também capacidade de controle de cristalização, inibição de sinerese, formação de filmes e encapsulação (BOTELHO, 1999).

As gomas exsudadas são polissacarídeos produzidos pelas células epiteliais de plantas quando o córtex é agredido por injúrias físicas ou ataque microbiano. A produção do exsudado gomoso é um mecanismo de defesa destas plantas que crescem em áreas semiáridas (FOOD, 2011).

O uso da goma de cajueiro já é reportado em algumas pesquisas, englobando diversas áreas, mas a sua aplicação no meio industrial ainda não foi estabelecida. Definida como heteropolissacarídeo complexo exsudado de cajueiros (*Anacardium occidentale*) e por sua semelhança estrutural com a goma arábica, tem sido sugerida como substituta.

A goma de cajueiro, além da semelhança estrutural (ramificações) e química (açúcares componentes) com a goma arábica, tem um importante diferencial: sua alta disponibilidade na região Nordeste do território brasileiro, podendo gerar lucros no período da entressafra do caju.

Estudo realizado por De Paula, *et al.* 1998, caracterizou a goma extraída de árvores da região nordeste como um heteropolissacarídeo ramificado contendo: β -D-galactose (72-73%), α -D-glucose (11-14%), arabinose (4-6,5%), ramnose (3,2-4%) e ácido glucurônico (4,7-6,3%) em porcentagem de massa. A goma arábica além do elevado custo, ocasionalmente tem sua importação comprometida pela dificuldade de fornecimento, relacionada a problemas climáticos, econômicos e políticos da região africana produtora.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar a incorporação de goma de cajueiro em concreto de auto-adensável (CAA), realizou-se inicialmente a caracterização dos materiais de construção utilizados para sua produção, onde os agregados para concreto, requisitos exigidos para a produção de concretos com cimento *Portland* seguiram os preceitos da ABNT NBR 7211/2009.

A areia fina foi retirada da jazida localizada na zona urbana da cidade de Teresina/PI e a brita foi retirada de jazida localizada na região metropolitana da cidade de Teresina/PI, onde foram transportadas para o laboratório da Engaste - Engenharia de Assessoria Técnica em Teresina-PI para realização dos seguintes ensaios: granulometria, massa específica real, peso unitário aparente, torrões de argila, material pulverulento e impurezas orgânicas.

Buscou-se caracterizar os agregados graúdos e miúdos necessários para o desenvolvimento da composição do concreto compostos por grãos de minerais limpos, duros, compactos, estáveis e duráveis, não podendo apresentar substâncias de natureza que pudessem afetar a hidratação, a cura do cimento, a proteção contra a corrosão, sua durabilidade e seu aspecto visual externo, quando necessário. Para tanto, os agregados foram adquiridos e armazenados em lotes, cujas unidades parciais de transporte foram individualizadas, com o cadastro de uma guia de remessa com os dados do fornecimento previsto na norma ABNT NBR 7211/09.

Para as amostras de agregado graúdo, brita, inicialmente foram lavadas e secas com processo natural, a temperatura ambiente, para a retirada de toda as impurezas existentes, principalmente o pó de brita.

Os agregados miúdos possuem a característica de reter água, assim antes de preparar o concreto foi importante considerar a quantidade de água que irá alterar o volume deste agregado, conforme os resultados de granulometria, que podem variar de 20 a 40%.

Assim, realizou o ensaio de inchamento, determinando a variação da umidade em função da granulometria, o inchamento foi executado para realizar a correção do agregado miúdo do concreto buscando a correção da umidade e volumetria final (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

Para o aglomerante, utilizou-se o cimento do tipo Portland, marca Ciplan, produzido em Brasília/DF, com as especificações de acordo com a ABNT NBR 11578. A determinação da dosagem ideal do concreto foi definida através de dosagem racional e experimental, com antecedência ao início da concretagem dos corpos de prova, o estudo da dosagem seguiu a norma da ABNT NBR 12655, mantendo os mesmos materiais e condições previstas para execução das condições de projeto.

O cimento utilizado foi o CP II-Z 32 com características físicas estabelecidas na ABNT NBR 11578. Cimentos Portland composto com pozolana apresentam propriedades de ligante hidráulico, a adição de escoria e materiais pozolânicos em sua composição, modifica a microestrutura, fazendo diminuir a permeabilidade, a porosidade capilar e a difusibilidade iônica e assim aumentando a estabilidade e a durabilidade do concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2017).

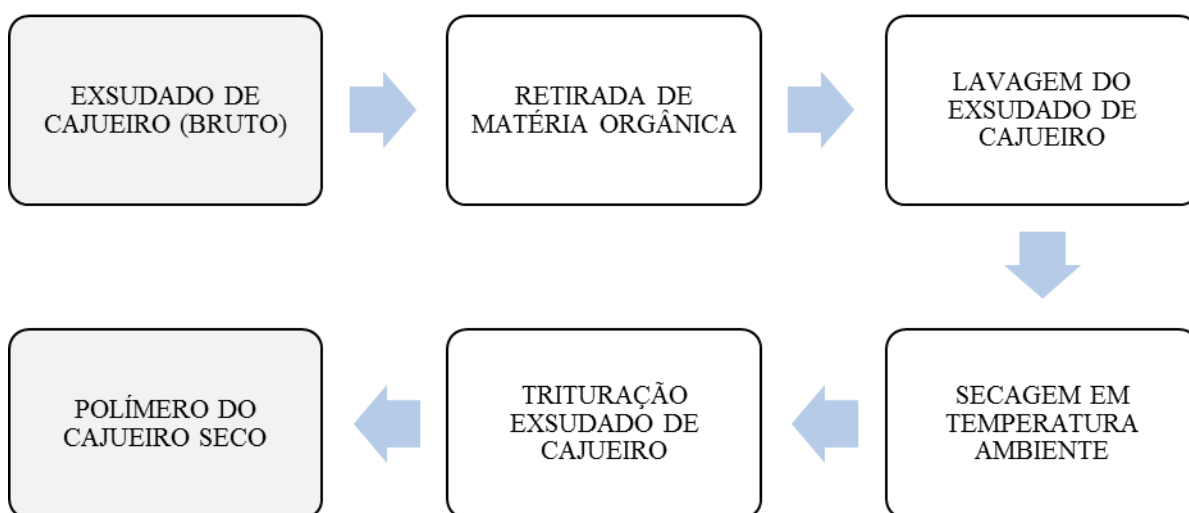
Para verificar a viabilidade da utilização da goma de cajueiro como aditivo em concreto de auto-adensável, utilizou-se em alguns corpo-de-prova o aditivo comercial superplastificante que possui base em policarboxilato, desenvolvido e comercializado para a produção de concreto auto-adensável. Sua aplicação é determinante para o auto nivelamento e auto-consolidação dentro das fôrmas de concreto, onde a quantidade utilizada pode ser ajustada de acordo com sua aplicação, variando de 0,15% a 0,80% sobre a massa do cimento. As especificações apresentadas pelo fabricante são que o aditivo é superplastificante, aspecto líquido, com cor amarela claro e massa específica de 1,06kg/m³.

O polissacarídeo, goma de cajueiro, utilizada com aditivo foi extraída de árvores nativas na Ilha do Cajueiro, localizado na cidade de Parnaíba/PI, espécie do tipo *Anacardium occidentale* L.

A extração da goma de cajueiro, em sua forma bruta, necessitou apenas de tratamento de triagem para a retirada de impurezas provenientes de sua exsudação e do contato com materiais orgânicos. Após a retirada de matérias orgânicas depositadas no exsudado, o mesmo foi triturado até se formar um pó de coloração cinza amarelado.

A goma foi isolada pelo método descrito por (de PAULA et al., 1998) com adaptações. O exsudado foi triturado a seguir a ele foi adicionado água destilada para sua dissolução (concentração 10% m/v). Para a remoção de contaminantes a solução formada foi filtrada e o polímero obtido por meio da precipitação do filtrado em etanol (Figura 4).

Figura 4. Etapas do processo de preparação da exsudado de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.).



Fonte: Autorial própria (2016).

A goma isolada foi caracterizada por meio de análise térmica TGA. As curvas termogravimétricas foram obtidas em equipamento TA Instruments SDT Q 600 na taxa de aquecimento de 10°C min⁻¹, de 10 a 1000°C.

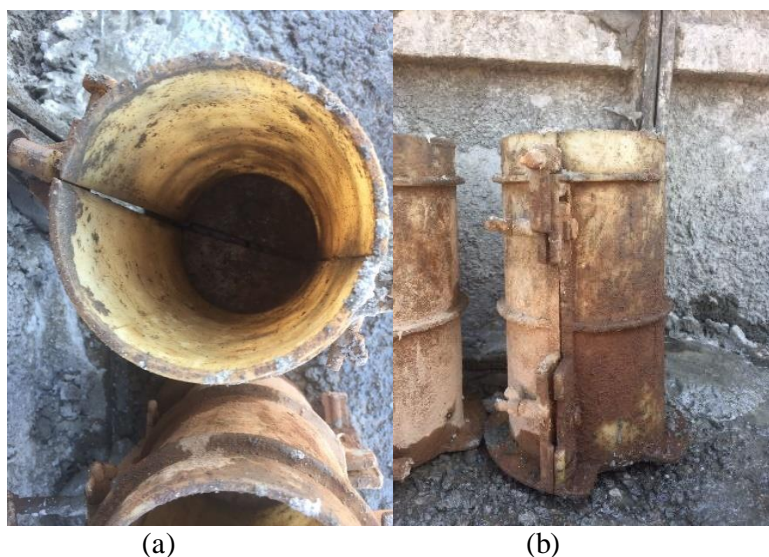
Iniciando a etapa de preparação do concreto e ensaios, iniciou-se determinando as dosagens racionais estabelecidas em função dos resultados geotécnicos de qualificação dos agregados realizados, do tipo de agregado utilizado, do tipo de cimento utilizado, da trabalhabilidade requerida (15,00cm), e das resistências características (15,00MPa e 20,00MPa). Durante a realização as dosagens racionais, adotou-se um desvio padrão (sd) de 3,00MPa, por tratar-se de concreto usinado. Em relação a umidade da areia, foram adotados parâmetros de verificações diárias, objetivando a correção da água de amassamento, de maneira a ser mantido o fator água/cimento e a trabalhabilidade do traço estudado. As argilas verificadas nas amostras de britas, foram tratadas através de relavagem com água corrente, para retirada de toda as impurezas existentes nas amostras, após as caracterizações dos agregado e dos ensaios de dosagem racional do concreto, os materiais foram enviados a concreteira.

Para determinar a consistência ideal do concreto, fator importante que influencia a sua trabalhabilidade foi realizado ensaio de abatimento de concreto, *slump test*, neste ensaio foi inserido a massa de concreto dentro de uma forma cônica, em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde igualmente adensadas com 25 golpes cada, da haste de socamento, posteriormente o molde foi retirado levantando-o cuidadosamente na direção vertical, lentamente, sem submeter o concreto a movimentos de torção lateral. Imediatamente após a retirada do molde foi medido o abatimento do concreto, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo-de-prova, que corresponde à altura média do corpo-de-prova desmoldado, aproximando aos 5 mm mais próximos. Para os casos onde ocorreram desmoronamento da massa de concreto sendo impedido de aferir o abatimento do concreto, o ensaio foi desconsiderado e realizado determinação com uma nova porção de concreto, assim na ocorrência de dois ensaios consecutivos sofreram deslizamento

o concreto foi considerado e caracterizado como não plástico e coeso para aplicação do ensaio de abatimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

Posteriormente, utilizando a metodologia descrita pela ABNT NBR 12655, foi confeccionado o concreto utilizando o Traço de 1:2,36:2,92, onde uma parte de concreto é composto por: 1 parte de cimento; 2,36 partes de areia e 2,92 parte de brita. Assim, iniciou-se a modelagem dos corpo-de-prova cilíndricos de concreto com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm (Figura 5).

Figura 5. Cilindros de moldagem Ø10x20cm: vista superior-diametral^(a); vista lateral-altura^(b).



Fonte: Aatoria própria (2016).

Os corpos de prova foram elaborados conforme ABNT NBR 5738, onde tiveram quatro camadas de igual volume, com aplicação de 30 golpes, com soquete apropriado, distribuídos uniformemente em toda a superfície e o arrasamento dos topos com régua (Figura 4).

Foram confeccionados 15 corpo-de-prova sem aditivos (CPsA), 15 corpo-de-prova com aditivo comercial (CPcA) e 18 corpo-de-prova com adição de goma de cajueiro (CPcG). A modelagem dos corpos de prova seguiu os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 5738/94, onde no adensamento de cada camada foi aplicado golpes de

socamento, uniformemente distribuídos em toda a seção transversal do molde, verificando sempre que, no adensamento de cada camada, a haste de socamento não poderia penetrar na camada que já tinha sido adensada.

Logo após a moldagem, no segundo dia, os corpos de prova foram desformados e imersos, toda a sua superfície, em água permanecendo até o ensaio de ruptura, um tempo de cura de 7 dias, 14 dias e 28 dias, tempo suficiente para atender as condições de endurecimento do concreto. A quantidade de corpos de prova e o tempo que permaneceu na cura está apresentado Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de corpos de prova e tempo de cura.

Corpos-de-prova (Traço 1 : 2,36 : 2,92)	Tempo de Cura		
	7 dias	14 dias	28 dias
Sem aditivos (CPsA)	5	5	5
Com aditivo comercial (CPcA)	5	5	5
Com adição de goma de cajueiro (CPcG)	6	6	6

Fonte: Autoria própria (2016).

Decorrido o tempo de cura, os corpo-de-prova foram retirados da cura saturada e suas faces onde foram aplicadas as cargas para ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos foram rematadas de acordo com o prescrito pela ABNT NBR 5738/94.

O ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos foi efetuado seguindo a ABNT NBR 5739/94, onde a carga aplicada foi contínua e sem choques, para tanto utilizou-se para o ensaio uma prensa hidráulica da marca Emic DL20000, com capacidade para 200tf e resolução de leitura de 0,1kN (10kgf).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios de granulometria determinaram os percentuais retidos nas peneiras de série normal conforme NBR 7211, que variam de 76mm a 0,15mm. As amostras de areia fina tiveram processo de limpeza para a retirada de materiais nocivos, matérias orgânicas ou quaisquer impurezas, posteriormente foram devidamente secas com processo natural, ao sol, para a retirada de toda a umidade acumulada nos interstícios lamelares ou nos grãos do material.

Conforme Tabela 2, os resultados granulométricos do agregado miúdo (areia) não apresentou a presença de torrões de argila com percentuais acima de 1,5%, caracterizando assim conforme a NBR 7211, padrão aceitável, que devem ser $\leq 1,5\%$ do volume total da amostra.

Tabela 2. Ensaio de granulometria do agregado miúdo (areia).

GRANULOMETRIA			
PENEIRAS (mm)	RETIDO (g)	PERCENTAGENS (%)	
		RETIDO	ACUMULADO
76	-	-	-
50	-	-	-
38	-	-	-
25	-	-	-
19	-	-	-
9,5	7,00	1,00	1,00
4,8	43,00	4,00	5,00
2,4	63,00	6,00	11,00
1,2	77,00	8,00	19,00
0,6	170,00	17,00	36,00
0,3	404,00	40,00	76,00
0,15	187,00	19,00	95,00
FUNDO	49,00	5,00	100,00
TOTAL	1.000,00	100,00	100,00
PESO DA AMOSTRA(g):			1.000,00
MÓDULO DE FINURA:			2,40
DIÂMETRO MÁXIMO:			4,80

Fonte: Autoria própria (2016).

Para a caracterização dos agregados miúdos, segundo a ABNT NBR-7211 a areia fina recebeu resultados que demonstraram que a areia extraída do Rio Poty é classificada

como Zona 2, módulo de finura de 2,4 e diâmetro máximo de 4,8mm. Os percentuais de argilas, impurezas orgânicas e materiais pulverulentos do volume total da amostra foram de 1,50%, 300 p.p.m e 5,00%, respectivamente. Para verificar se a areia pode ser utilizada como material fino, agregado miúdo, a distribuição granulométrica segundo a ABNT NBR NM 248 apresentaram os limites estabelecidos na Tabela 3.

Tabela 3. Limite de distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneiras Abertura de malha	Porcentagem, em massa, retida acumulada (%)			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Utilizável	Zona Ótima
9,5 mm	-	-	-	-
6,3 mm	-	-	-	7
4,75 mm	-	-	5	10
2,36 mm	-	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

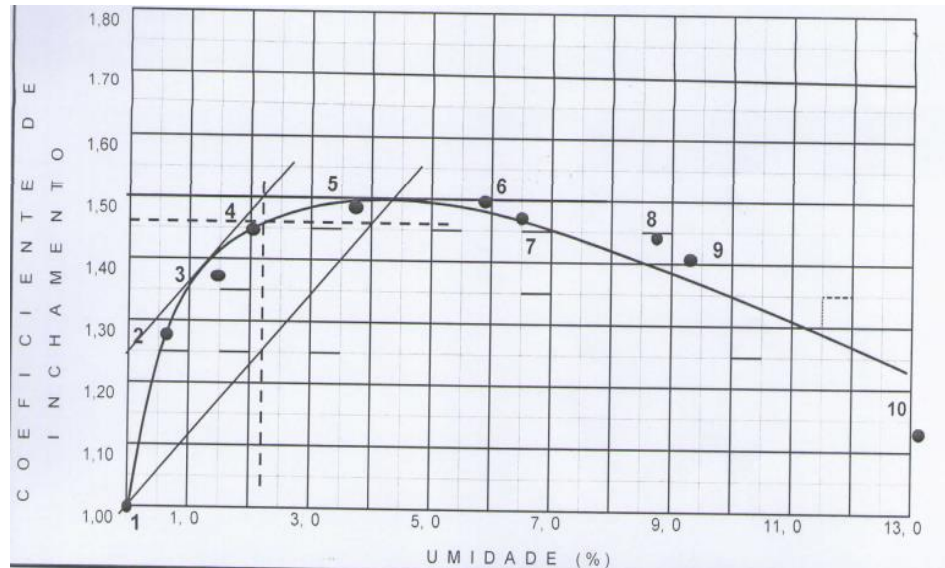
Fonte: ABNT NBR 7211:2005 (Adaptada).

Estes resultados mostram que, o agregado miúdo, segundo a norma da ABNT NBR 7211:2005, está dentro da zona ótima para aplicação em concretos, pois o módulo de finura varia de 2,20 a 2,90. Esta característica mostra que a areia utilizada do Rio Poty possui grãos de diâmetro medianos, nem muito pequenos, pois poderiam ser classificados como pulverulentos, nem tão grandes, que estariam no limite de classificação de agregados graúdos. Assim este ensaio pode-se estimar que um material com finura na zona utilizável inferior a 1,55 a 2,20 diminuiria área de superfície para o cimento aderir e uma classificação com finura da zona utilizável superior a 2,90 a 3,50, tornaria o material muito homogêneo e com espaços vazios entre os grãos.

Após a classificação granulométrica da areia, foi realizado o ensaio de curva de inchamento, que determina a capacidade de retenção de água na preparação do concreto. O

ensaio de inchamento da areia determinou a umidade crítica do material com o acréscimo de percentagem de água e a aferição volumétrica, conforme NBR 6467/85 (Figura 6).

Figura 6. Representação gráfica da Curva de Inchamento do Agregado Miúdo.



Fonte: Autoria própria (2016).

A figura 6 representa o inchamento de agregado miúdo que é o fenômeno relativo à variação do volume aparente, provocado pela absorção de água livre pelos grãos do agregado, que altera de forma significativa a massa unitária da amostra.

O ensaio de inchamento do agregado miúdo determina o quanto de água é absorvida pelo agregado miúdo para se determinar o aumento de volume da amostra em função do teor de umidade por ela exposta, e conforme o teor de umidade, sua principal utilização é de efetuar a correção do fator água/cimento ao traço desejado.

Foram realizados ensaios de granulometria que determinaram os percentuais retidos nas peneiras de série normal conforme NBR 7211, que variam de 76mm a 0,15mm, que classificou o agregado com diâmetro de 19 mm, conforme Tabela 4.

Tabela 4. Ensaio de granulometria do agregado graúdo (brita 0).

GRANULOMETRIA			
PENEIRAS (mm)	RETIDO (g)	PERCENTAGENS (%)	
		RETIDO	ACUMULADO
76	-	-	-
50	-	-	-
38	-	-	-
25	-	-	-
19	-	-	-
9,5	1.880,00	19,00	19,00
4,8	7.914,00	79,00	98,00
2,4	206,00	2,00	100,00
1,2	-	-	100,00
0,6	-	-	100,00
0,3	-	-	100,00
0,15	-	-	100,00
FUNDO	-	-	100,00
TOTAL	10.000,00	100,00	100,00
PESO DA AMOSTRA (g):			10.000,00
MÓDULO DE FINURA:			6,12
DIÂMETRO MÁXIMO:			19,00

Fonte: Autoria própria (2016).

Verificou-se no ensaio, de qualificação da brita, com o tratamento prévio de lavagem, os resultados apontaram a presença de torrões de argila com percentuais acima de 0,25%, caracterizando assim conforme a NBR 7211 como dentro dos padrões aceitáveis, que devem ser $\leq 0,25\%$ do volume total da amostra. Diante da aceitação dos padrões da amostra, não foi necessária nenhuma intervenção técnica na amostra.

Para a caracterização do agregado graúdo, segundo a ABNT NBR-7211 a brita, retirada de jazida localizada na região metropolitana da cidade de Teresina/PI, teve como classificação como Brita 0, por possuir módulo de finura de 6,2 mm e diâmetro máximo de 19,00 mm. Os percentuais de argilas, impurezas orgânicas, materiais pulverulentos e pó de brita do volume total da amostra foram de 1,50%, 300p.p.m, 5,00% e 0,00%, respectivamente. A distribuição granulométrica foi determinada segundo a ABNT NBR NM 248 que atende aos limites indicados para o agregado graúdo conforme apresentado na Tabela 5

Tabela 5. Limite de distribuição granulométrica do agregado graúdo.

Peneiras Abertura de malha	Porcentagem, em massa, retida acumulada (%)				
	Zona granulométrica d/D*				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 - 5
63 mm	-	-	-	-	5 - 30
50 mm	-	-	-	0 - 5	75 - 100
37,5 mm	-	-	-	5 - 30	90 - 100
31,5 mm	-	-	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25 mm	-	0 - 5	5 - 25	87 - 100	-
19 mm	-	2 - 15	65 - 95	95 - 100	-
12,5 mm	0 - 5	40 - 65	92 - 100	-	-

* d: diâmetro mínimo e D: diâmetro máximo.

Fonte: ABNT NBR 7211:2005 (2005).

Os ensaios realizados para caracterização física e mecânica do CP-II-Z-32 estão demonstrados na Tabela 6.

Tabela 6. Caracterização física e mecânica do CP-II-Z-32.

Referência	Resistência a Compressão (Mpa)				Módulo de Finura	
	01 dia	03 dias	07 dias	28 dias	# 200	# 325
Mínimo	13,90	23,50	26,30	-	0,90	6,30
Média	16,00	24,70	28,40	-	1,10	7,20
Máxima	17,50	26,20	29,50	-	1,50	8,70
D.Padrão	1,00	0,71	1,02	-	0,20	0,70

Fonte: Divisão de Controle de Qualidade CIPLAN (2016).

Conforme normas internas e NBR 11578, os ensaios do aglomerante CP-II-Z-32, ocorrem para estudo da evolução e ganho de resistência a compressão em 01, 03, 07 e 28 dias de moldagem dos corpos de prova (CP's), os resultados são disponibilizados pelo fabricante do aglomerante (cimento) que desejam utilizar o produto, conforme apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Caracterização do cimento Portland CP-II-Z 32.

Ensaio do Cimento CP-II-Z 32 (Ensacado) - Marca: Ciplan							
Ensaio	Resistência a Compressão				Pega		
Unidade	MPa (Mega Pascal)				H ₂ O	min.	min.
Data da Coleta	07 Dias	14 Dias	28 Dias	-	Água de Consist.	Início	Fim
Máximo - ABNT	-	-	-	-	-	-	600
Mínimo - ABNT	20	25	32	-	-	60	-
01/03/2016	26,30	27,30	30,05	-	29,00	160,00	230,00
02/03/2016	29,10	28,10	29,95	-	29,00	170,00	240,00
03/03/2016	29,20	28,05	30,01	-	29,00	175,00	245,00
04/03/2016	29,50	28,15	29,85	-	29,00	160,00	235,00
05/03/2016	28,90	27,35	29,75	-	29,00	165,00	240,00
06/03/2016	29,20	28,22	30,15	-	28,80	165,00	245,00
07/03/2016	27,70	26,95	28,95	-	28,80	175,00	245,00
08/03/2016	27,90	26,80	29,55	-	28,60	170,00	240,00
09/03/2016	27,50	26,22	29,35	-	28,40	175,00	255,00
10/03/2016	28,70	27,35	30,10	-	28,60	175,00	245,00
Mínimo	26,30	26,22	28,95	-	28,40	160,00	230,00
Médio	20,29	29,95	32,97	-	28,73	173,21	247,14
Máximo	29,50	28,22	30,15	-	29,00	195,00	290,00
Desvio Padrão	1,02	1,01	1,00	-	0,24	11,00	15,20

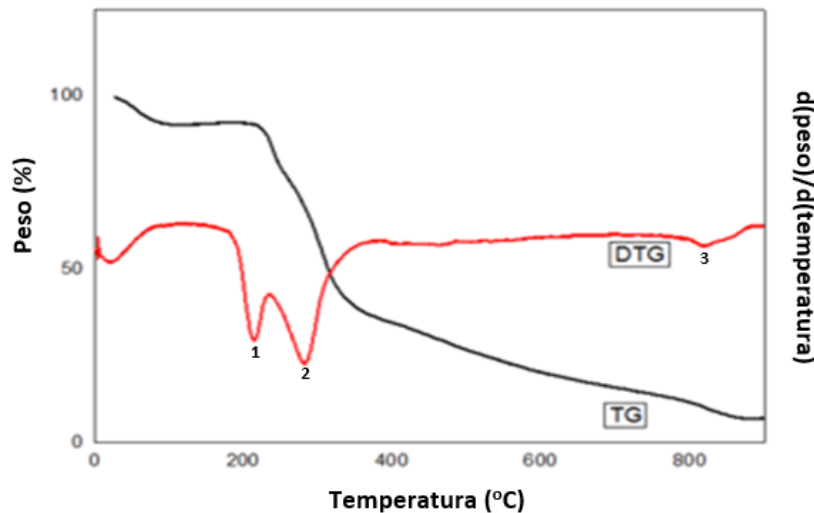
Fonte: Divisão de Controle de Qualidade CIPLAN (2016) Adaptada.

Verifica-se que a caracterização realizada pelos ensaios da Ciplan, o cimento produzido pela mesma empresa, atende as exigências da ABNT, pois os resultados indicam ganho de resistência para cura de 7 dias, 14 dias e 28 dias, acima de 20MPa, 25MPa, 32Mpa, respectivamente e início de Pega acima de 60 minutos. Os ganhos de resistência consideráveis são nos primeiros 3 dias da concretagem das amostras, com crescimento no percentual em torno de 41%, contudo, com 7 dias de concretagem a resistência estabiliza ficando com percentual de até 11%.

A goma do cajueiro, *Anacardium occidentale* L., apresenta solubilidade em água com concentração de até 50%, sendo levemente ácida, com pH de 6,5 a 20.0°C, em seu isolamento foi observado um rendimento de 70%.

Os dados de análise TGA indicam ainda que o polissacarídeo apresenta 3 eventos de degradação e porcentagem de resíduo de 4,8%. A goma do cajueiro apresenta um teor de umidade 8,1% associado ao primeiro evento de degradação (Figura 7).

Figura 7. Curva termogravimétrica e DTG da goma do cajueiro isolada.



De posse dos dados relativos a caracterização dos materiais que fazem parte dos componentes do concreto, iniciou-se o ensaio de dosagem racional levando em consideração a variação do fator água/cimento (ABNT NBR 12655/82). Assim, foram confeccionados 18 corpos de prova de concreto com o traço 1:2,36:2,92 (cimento, areia e brita) onde foram aferidas suas resistências através de ensaios de resistência de compressão, conforme NBR 5739, realizadas com prensa hidráulica com capacidade de compressão de 100 toneladas.

Verificou-se que o consumo do cimento sofreu aumento inversamente proporcional com a variação do fator água/cimento, elevando consideravelmente a resistência do traço estudado. As resistências f_c desejada era de 20 Mpa, porém após 28 dias de cura do concreto, verificou-se que f_{c28} foi de 25 Mpa, indicando um ganho de resistência acima do previsto no início do ensaio para um fator de água/cimento de 0,50, com um consumo de cimento de 360 kg/m^3 (Tabela 8).

Tabela 8. Resultado da dosagem racional do concreto (ABNT NBR 12655/82).

DOSAGEM RACIONAL DE CONCRETO						
TRAÇO n.º	RESISTÊNCIA AS (MPa)		DESVIO PADRÃO (MPa)	FATOR ÁGUA/CIMEN TO	SLUMP TEST (cm)	CONSUMO CIMENTO (kg e saco/m³)
	fc	fc 28				
02- 06/2017	20,0 0	25,00	3,00	0,50	15,00	360,00/7,20

Fonte: Autoria própria (2016).

Com os dados da dosagem racional elaborada em laboratório (Tabela 9), foi determinado o traço padrão para a confecção dos corpos de prova (ABNT NBR 12655/82). A quantidade de agregados miúdos, agregado graúdos, aglomerante, água e aditivos estão apresentados na Tabela 9.

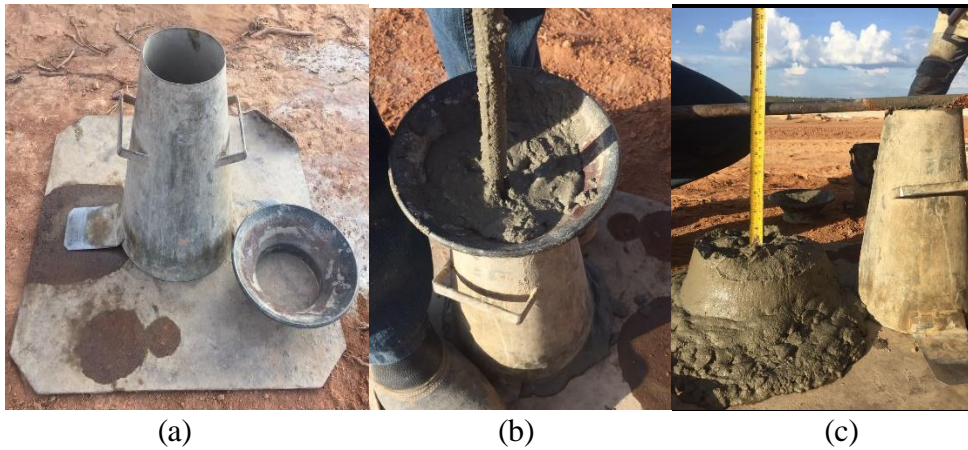
Tabela 9. Traço padrão determinado para as amostras.

Amostra de Referência	Quantidade de Materiais (kg)			Água (L)	Goma de Cajueiro (g)
	Cimento	Areia	Brita		
Sem aditivos (CPsA)	14,40	34,00	42,00	7,20	-
Com aditivo comercial (CPcA)	14,40	34,00	42,00	7,20	-
Com adição de goma de cajueiro (CPcG)	14,40	34,00	42,00	4,30	150,00

Fonte: Autoria própria (2016).

Para a elaboração do concreto, faz-se necessário a realização de ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump Test*), que tem por objetivo medir a consistência do concreto para verificação de seu enquadramento ao tipo de elemento estrutural e adensamento (NBR NM 67/98). O ensaio consistiu em inserir concreto no traço 1:2,36:2,92 em uma forma metálica tronco-cônica onde foram aplicados 25 golpes conforme o concreto foi adicionado. Após enchimento por completo do tronco, a forma foi retirada e em seguida mediu-se a relação altura do tronco e abatimento do concreto (Figura 8).

Figura 8. Ensaio de abatimento (*Slump Test*): forma^(a), adensamento^(b) e abatimento^(c).



Fonte: A autoria própria (2016).

Os resultados do ensaio de abatimento de tronco de cone tiveram a altura de abatimento de 20 cm, mostrando que o concreto possui trabalhabilidade para a produção de concreto alto adensável conforme requisitos da ABNT NBR NM 67/98.

Considerando que o concreto elaborado anteriormente apresenta requisitos normativos, iniciou-se a confecção de corpos de prova com diâmetro de 10 e altura de 20 cm. Foram confeccionados um total de aproximadamente 43 corpos de prova, sendo 15 sem aditivo (**CPsA**), 15 com aditivo comercial (**CPcA**) e 18 com goma cajueiro (**CPcG**).

Figura 9. Confecção de corpos de prova com diâmetro de 10 e altura de 20 cm.



(a) molde sem arrasamento

(b) molde com arrasamento

Fonte: A autoria própria (2016).

Posteriormente a confecção dos corpos de prova, no segundo dia, os mesmos foram desformados e ficaram em cura submersa por 7 dias, 14 dias e 28 dias, para evitar a evaporação prematura da água que é necessária para hidratar o cimento, assim permaneceram até o ensaio de rompimento em equipamento mecânico destrutivo, com capacidade para 200tf e resolução de leitura de 0,1kN (10kgf).

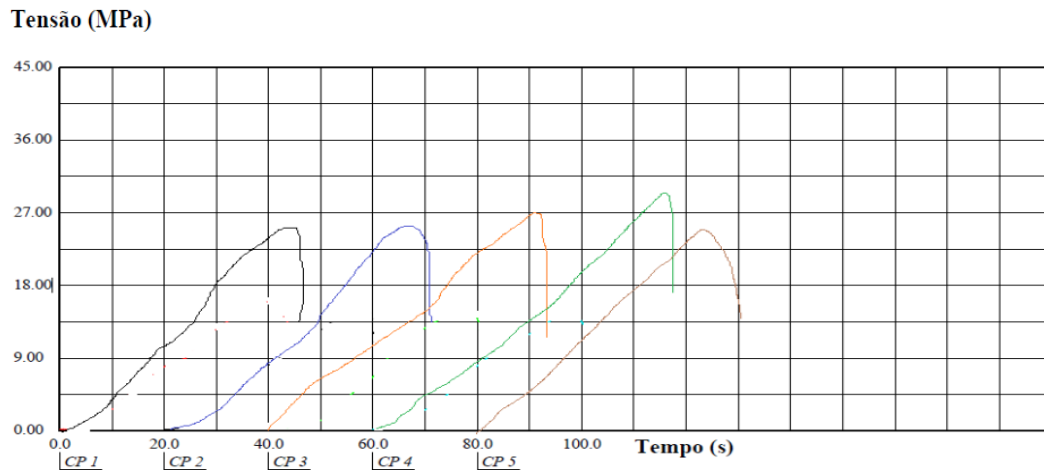
Após 7 dias de cura, 5 corpos de prova sem aditivo (CPsA) foram rompidos e apresentaram resistência a compressão conforme Tabela 10.

Tabela 10. Resultado dos rompimentos dos CPsA com idade de 7 dias.

Corpo de Prova (CP)	Diâmetro Médio (mm)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)
CP 1	98,50	183,71	23,77
CP 2	99,01	202,00	26,14
CP 3	100,00	213,20	27,59
CP 4	100,00	246,31	31,87
CP 5	99,80	200,10	25,89
Número CP's	5	5	5
Média	99,46	209,06	27,05
Desvio Padrão	0,6219	23,79	2,116
Coef. Var. (%)	0,6229	11,22	10,45
Mínimo	98,50	183,71	23,77
Máximo	100,00	246,31	31,87

Fonte: Autoria própria (2016).

Na Figura 10 é apresentado o gráfico de tensão em relação ao tempo de rompimento para CPsA com idade de 7 dias.

Figura 10. Gráfico de tensão (MPa) x Tempo (s) para CPsA com idade de 7 dias.

Fonte: Autoria própria (2016).

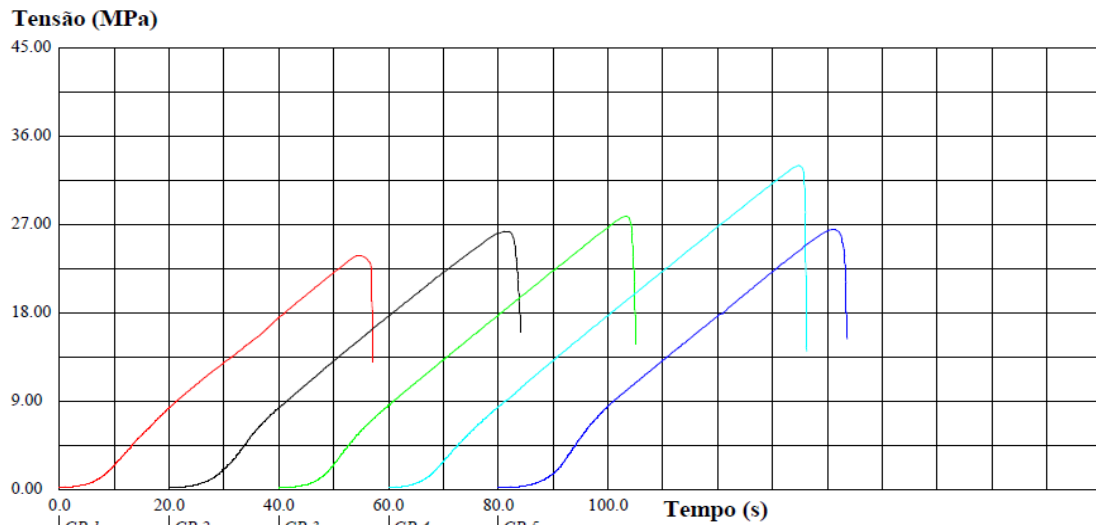
Após 14 dias de cura, 5 corpos de prova sem aditivo (CPsA) foram rompidos e apresentaram resistência a compressão conforme Tabela 11.

Tabela 11. Resultado dos rompimentos dos CPsA com idade de 14 dias.

Corpo de Prova	Diâmetro Médio (mm)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)
CP 1	98,50	181,70	23,85
CP 2	99,00	203,00	26,37
CP 3	100,00	219,30	27,92
CP 4	100,00	259,70	33,06
CP 5	99,50	206,40	26,54
Número CP's	5	5	5
Média	99,40	214,00	27,55
Desvio Padrão	0,6519	28,89	3,416
Coef. Var. (%)	0,6559	13,50	12,40
Mínimo	98,50	181,70	23,85
Máximo	100,00	259,70	33,06

Fonte: Autoria própria (2016).

Na Figura 11 é apresentado o gráfico de tensão em relação ao tempo de rompimento para CPsA com idade de 14 dias.

Figura 11. Gráfico de tensão (MPa) x Tempo (s) para CPsA com idade de 14 dias.

Fonte: Autoria própria (2016).

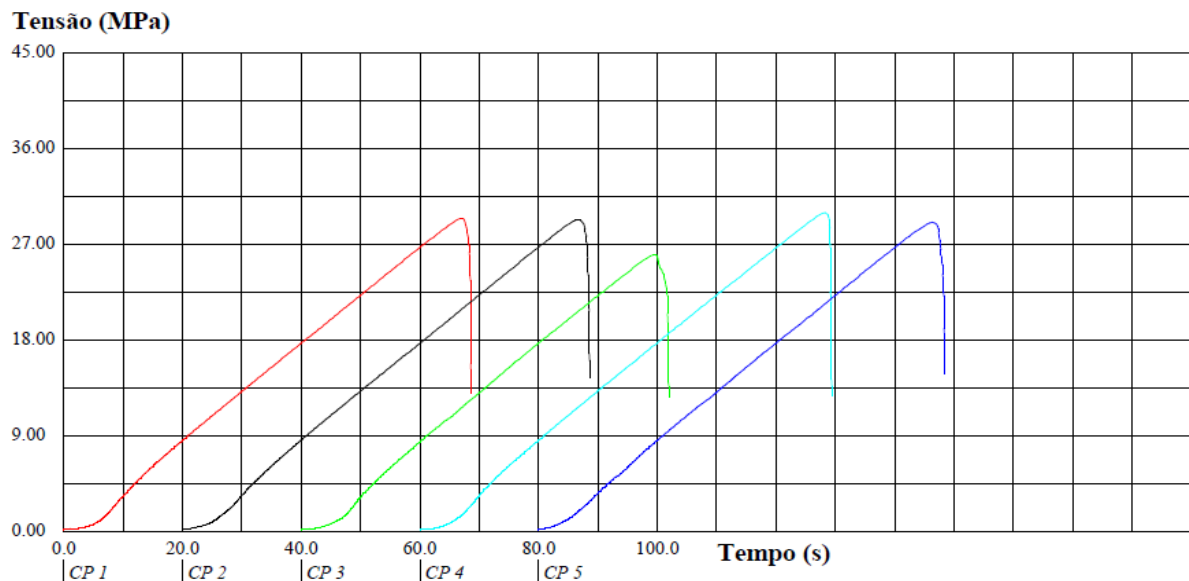
Após 28 dias de cura, 5 corpos de prova sem aditivo (CPsA) foram rompidos e apresentaram resistência a compressão conforme Tabela 12.

Tabela 12. Resultado dos rompimentos dos CPsA com idade de 28 dias.

Corpo de Prova	Diâmetro Médio (mm)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)
CP 1	99,40	229,00	29,51
CP 2	99,80	229,20	29,32
CP 3	99,40	202,50	26,10
CP 4	99,50	233,40	30,03
CP 5	99,80	228,20	29,14
Número CP's	5	5	5
Média	99,57	224,40	28,82
Desvio Padrão	0,2113	12,43	1,559
Coef. Var. (%)	0,2122	5,538	5,409
Mínimo	99,40	202,50	26,10
Máximo	99,85	233,40	30,03

Fonte: Autoria própria (2016).

Na Figura 12 é apresentado o gráfico de tensão em relação ao tempo de rompimento para CPsA com idade de 28 dias.

Figura 12. Gráfico de tensão (MPa) x Tempo (s) para CPsA com idade de 28 dias.

Fonte: Autoria própria (2016).

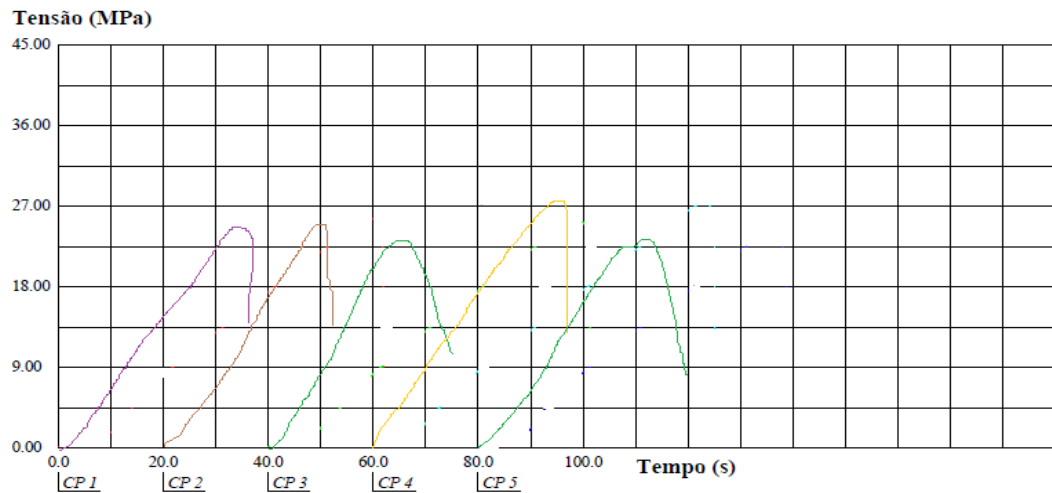
Após 7 dias de cura, 5 corpos de prova com aditivo comercial (CPcA) foram rompidos e apresentaram resistência a compressão conforme Tabela 13.

Tabela 13. Resultado dos rompimentos dos CPcA com idade de 7 dias.

Corpo de Prova	Diâmetro Médio (mm)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)
CP 1	99,50	194,00	25,10
CP 2	99,45	196,35	25,41
CP 3	99,00	200,00	25,88
CP 4	99,95	215,00	27,82
CP 5	99,65	199,99	25,88
Número CP's	5	5	5
Média	99,51	201,07	26,02
Desvio Padrão	0,2001	10,23	1,115
Coef. Var. (%)	0,2022	5,2254	4,419
Mínimo	99,00	194,00	25,10
Máximo	99,95	215,00	27,82

Fonte: Autoria própria (2016).

Na Figura 13 é apresentado o gráfico de tensão em relação ao tempo de rompimento para CPcA com idade de 7 dias.

Figura 13. Gráfico de tensão (MPa) x Tempo (s) para CPcA com idade de 7 dias.

Fonte: Autoria própria (2016).

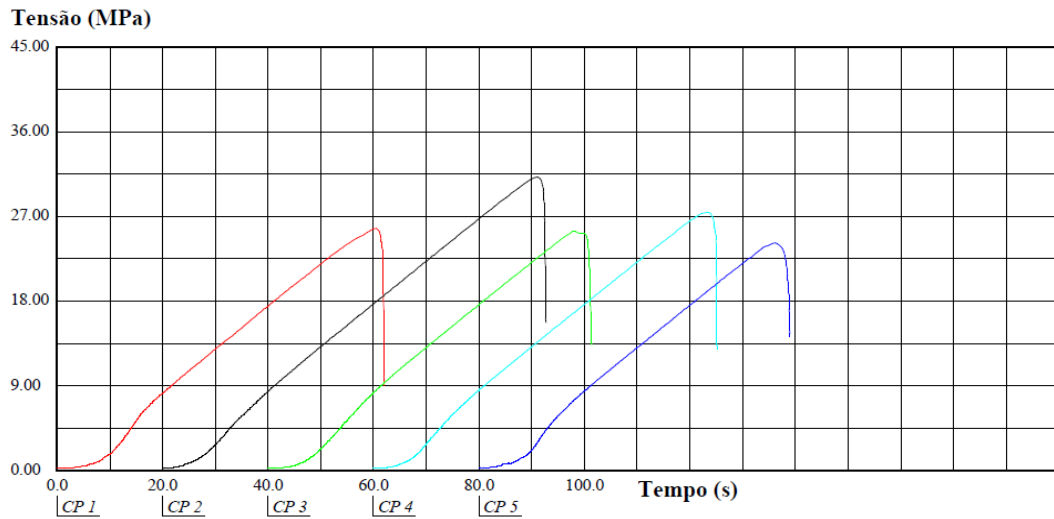
Após 14 dias de cura, 5 corpos de prova com aditivo comercial (CPcA) foram rompidos e apresentaram resistência a compressão conforme Tabela 14.

Tabela 14. Resultado dos rompimentos dos CPcA com idade de 14 dias.

Corpo de Prova	Diâmetro Médio (mm)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)
CP 1	99,50	200,20	25,74
CP 2	99,40	242,40	31,24
CP 3	99,20	196,60	25,43
CP 4	99,90	215,40	27,48
CP 5	99,50	188,20	24,20
Número CP's	5	5	5
Média	99,50	208,50	26,82
Desvio Padrão	0,2550	21,34	2,733
Coef. Var. (%)	0,2562	10,23	10,19
Mínimo	99,20	188,20	24,20
Máximo	99,90	242,40	31,24

Fonte: Autoria própria (2016).

Na Figura 14 é apresentado o gráfico de tensão em relação ao tempo de rompimento para CPcA com idade de 14 dias.

Figura 14. Gráfico de tensão (MPa) x Tempo (s) para CPcA com idade de 14 dias.

Fonte: Autoria própria (2016).

Após 28 dias de cura, 5 corpos de prova com aditivo comercial (CPcA) foram rompidos e apresentaram resistência a compressão conforme Tabela 15.

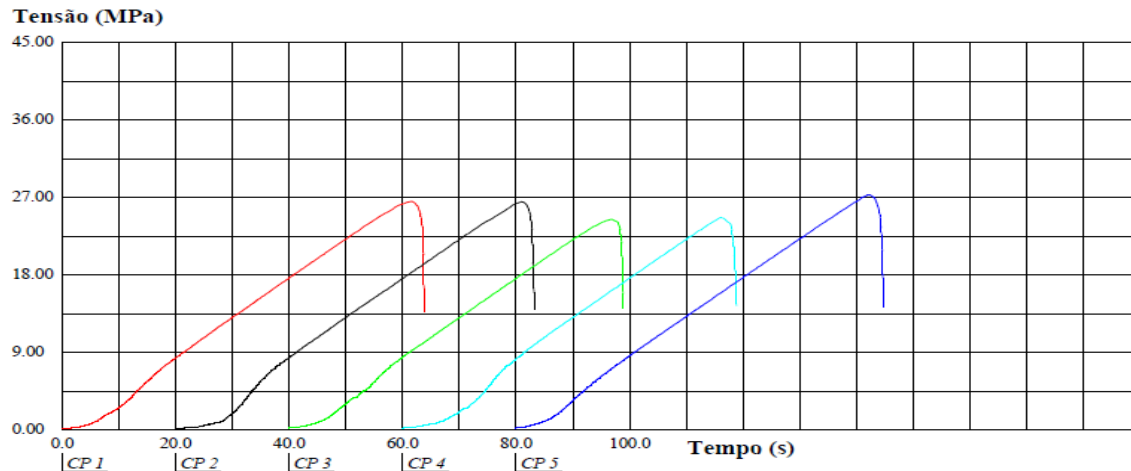
Tabela 15. Resultado dos rompimentos dos CPcA com idade de 28 dias.

Corpo de Prova	Diâmetro Médio (mm)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)
CP 1	99,60	207,50	26,63
CP 2	99,40	206,20	26,56
CP 3	100,40	193,80	24,50
CP 4	99,70	192,90	24,73
CP 5	100,40	216,50	27,34
Número CP's	5	5	5
Média	99,89	203,40	25,92
Desvio Padrão	0,4592	9,981	1,262
Coef. Var. (%)	0,4597	4,908	4,864
Mínimo	99,42	192,90	24,50
Máximo	100,40	216,50	27,34

Fonte: Autoria própria (2016).

Na Figura 15 é apresentado o gráfico de tensão em relação ao tempo de rompimento para CPcA com idade de 28 dias.

Figura 15. Gráfico de tensão (MPa) x Tempo (s) para CPcA com idade de 28 dias.



Fonte: Autoria própria (2016).

Após 2 dias de cura, 6 corpos de prova com adição de goma de cajueiro (CPcG), no momento da desforma, não obtiveram consistência necessária para sua estrutura permanecer sem a forma, verificou-se que o concreto rompeu na sua abertura. Assim, prolongou-se o tempo de desforma para 4 dias buscando verificar a sua trabalhabilidade em um período maior de tempo. Após os 4 dias, 12 amostras foram desformadas e não apresentaram problemas estruturais, assim foram levadas para a cura submersa, onde permaneceram por 14 dias e 28 dias.

Após 14 dias de cura, 6 corpos de prova com adição de goma de cajueiro (CPcG) foram rompidos e apresentaram resistência a compressão conforme Tabela 16.

Tabela 16. Resultado dos rompimentos dos CPcG com idade de 14 dias.

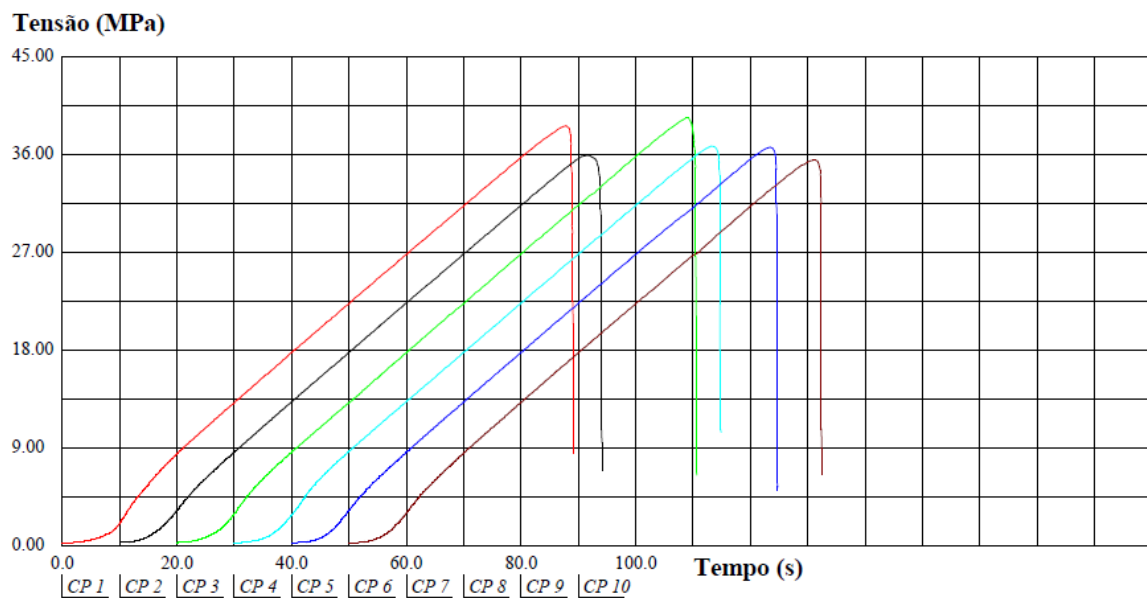
Corpo de Prova	Diâmetro Médio (mm)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)
CP 1	99,00	297,60	38,66
CP 2	99,20	278,00	35,96
CP 3	99,60	306,90	39,39
CP 4	99,90	288,50	36,81
CP 5	99,50	285,40	36,71
CP 6	99,40	275,40	35,50

Número CP's	6	6	6
Média	99,43	288,60	37,17
Desvio Padrão	0,3141	11,92	1,532
Coef. Var. (%)	0,3159	4,131	4,121
Mínimo	99,00	275,40	35,50
Máximo	99,90	306,90	39,39

Fonte: Autoria própria (2016).

Na Figura 16 é apresentado o gráfico de tensão em relação ao tempo de rompimento para CPcG com idade de 14 dias.

Figura 16. Gráfico de tensão (MPa) x Tempo (s) para CPcG com idade de 14 dias.



Fonte: Autoria própria (2016).

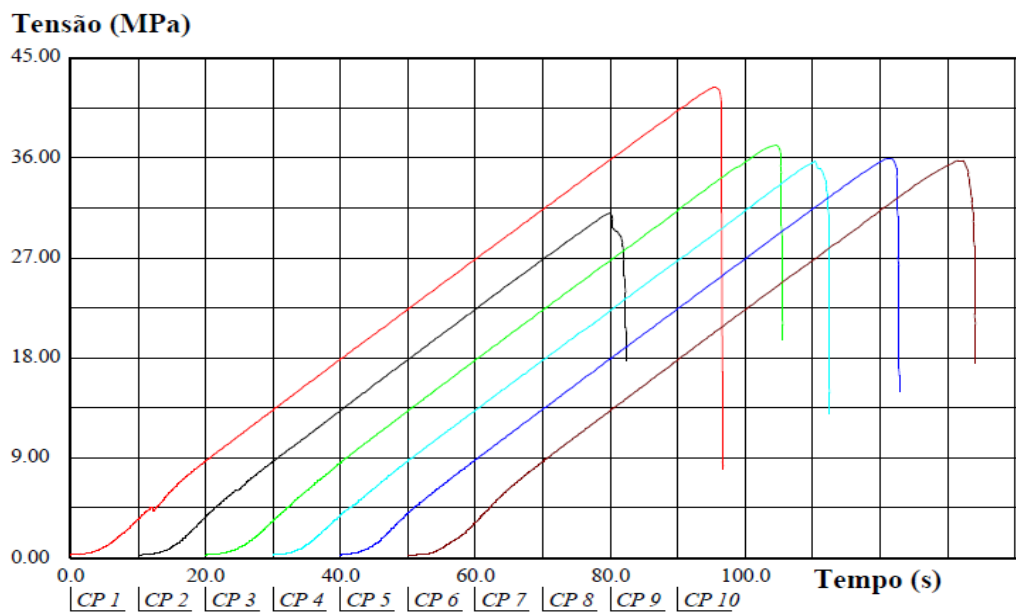
Após 28 dias de cura, 6 corpos de prova com adição de goma de cajueiro (CPcG) foram rompidos e apresentaram resistência a compressão conforme Tabela 17.

Tabela 17. Resultado dos rompimentos dos CPcG com idade de 28 dias.

Corpo de Prova	Diâmetro Médio (mm)	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)
CP 1	99,30	327,60	42,34
CP 2	100,60	246,60	31,06
CP 3	99,90	291,70	37,18
CP 4	99,80	279,70	35,72
CP 5	100,00	282,60	35,98
CP 6	99,60	279,00	35,82
Número CP's	6	6	6
Média	99,87	284,50	36,35
Desvio Padrão	0,4344	26,07	3,617
Coef. Var. (%)	0,4349	9,164	9,951
Mínimo	99,25	246,60	31,06
Máximo	100,60	327,60	42,34

Fonte: Aatoria própria (2016).

Na Figura 17 é apresentado o gráfico de tensão em relação ao tempo de rompimento para CPcG com idade de 28 dias.

Figura 17. Gráfico de tensão (MPa) x Tempo (s) para CPcG com idade de 28 dias.

Fonte: Aatoria própria (2016).

Podemos verificar nos resultados dos rompimentos dos corpos de prova que a amostra com a goma de cajueiro (CPcG) obteve um aumento de resistência superior ao encontrado pelas amostras sem aditivo (CPsA) e amostras com aditivo comercial (CPcA).

A análise de resistência obtida com as 15 amostras de corpos de prova (CP's), sem adição de aditivo comercial e goma de cajueiro (CPsA), determinaram resistência média de 27,55MPa para 7 dias, 27,55 para 14 dias e 28,82Mpa para 28 dias, com desvio padrão de 2,116, 3,416 e 1,559 respectivamente e média para resistência característica de 28 dias com f_{ck} igual a 27,81MPa.

Para as 15 amostras de corpos de prova (CP's) com adição de aditivo comercial e sem goma de cajueiro (CPcA), a resistência média foi de 26,02MPa para 7 dias, 26,82Mpa para 14 dias e 25,95Mpa para 28 dias, com desvio padrão de 1,115, 2,733 e 1,262 respectivamente e média para f_{c28} de 26,26MPa.

As 18 amostras de corpos de prova (CP's) com adição de goma de cajueiro (CPcG), apresentarem significativo aumento em sua resistência média para f_{c28} de 36,760MPa, ou seja, acréscimo de 32,18% em seu F_{ck} padrão em relação as amostras sem aditivo (CPsA) e de 39,98% em relação as amostras com aditivo comercial (CPcA). As amostras de CPcG após o segundo dia de moldagem, não foi possível sua desforma devido a falta de consistência e estabilidade do molde para início de cura submersa, com isso, não foi possível realizar o rompimento da mesma com 7 dias.

A tabela 18 apresenta os resultados dos rompimentos dos corpos de prova para as amostras CPcG, CPsA e CPcA com cura de 7, 14 e 28 dias.

Tabela 18. Comparativo dos resultados de rompimentos dos corpos de prova.

Amostra de Referência	Número de CP's	Resistência a Compressão (MPa)			
		7 dias	14 dias	28 dias	Média
Sem aditivo CPcG	15	27,05	27,55	28,82	27,81
Com Aditivo CPsA	15	26,02	26,82	25,95	26,26
Com Goma CPcA	12	*	37,17	36,35	36,760

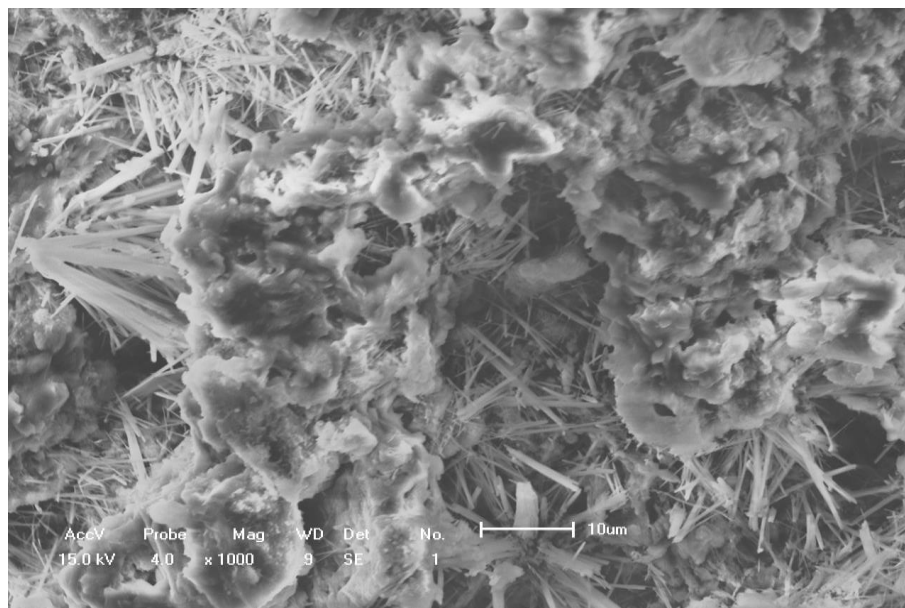
* corpos de prova não atingiram consistência para desforma

Verifica-se ainda que, com adição de goma de cajueiro no concreto, para a relação do fator água/cimento, houve uma redução considerável no consumo da água no momento da mistura, pois além de reduzir a perda da água gradativamente ao longo do processo de cura do concreto a goma de cajueiro incorporou moléculas de água permitindo uma melhor hidratação e ganho de resistência em menor tempo.

As morfologias do concreto puro e com a goma de cajueiro foram analisadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) (Figuras 17 e 18), a fim de se observar se ocorrem alterações na superfície do concreto após a adição da exsudado de cajueiro.

Na Figura 18, pode-se observar que a morfologia da superfície do concreto puro é bastante heterogênea com a presença de agregados e fios, já o a estrutura do concreto após a adição da goma de cajueiro (Figura 19) continua apresentando uma estrutura heterogênea, no entanto, houve o desaparecimento dos fios que estavam agregados em sua estrutura, indicando que a adição goma de cajueiro proporcionou uma interação maior entre os agregados presentes no concreto.

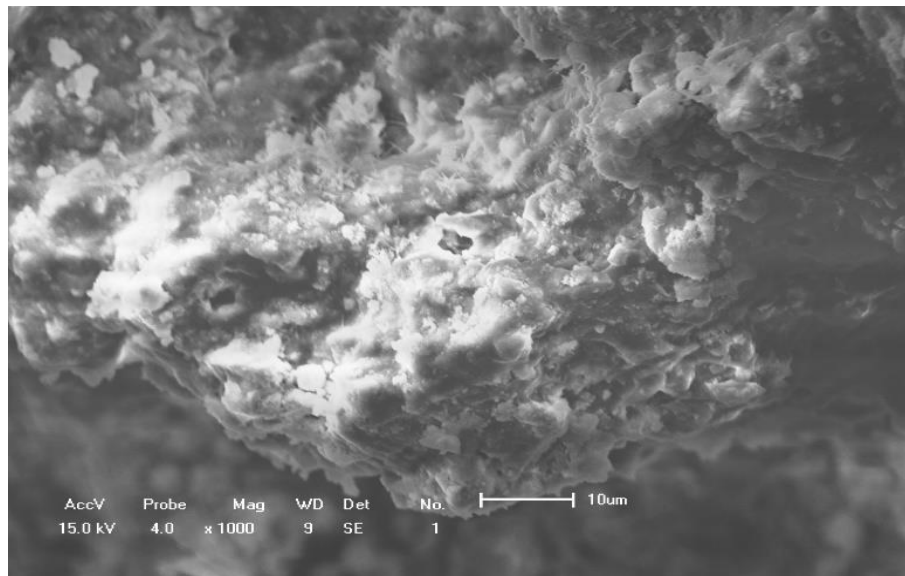
Figura 18. MEV do Concreto Puro (CPsA).



Fonte: Autoria própria (2016).

As formações de cristais são observadas na pasta de concreto solidificada após a hidratação do cimento Portland, com características de estruturas fibrilares. A formação de vazios são outras características observadas, o que demonstra através dos ensaios de rompimento dos corpos de provas uma queda de resistência devido a falta de interação entre os componentes do concreto.

Figura 19. MEV do Concreto com Adição de Exsudado de Cajueiro (CPcG).



Fonte: Autoria própria (2016).

Nas amostras de concreto com adição de exsudado de cajueiro demonstram maior homogeneidade e interação entre os componentes do concreto, o que favorece a uma maior resistência em comparação as amostras sem adição do exsudado. A redução dos vazios entre os componentes é outro fator importante de ganho de resistência, o chamado vazio capilar em menor presença favorece melhor permeabilidade, maior interação interlamelar das estruturas e maior resistência.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

5. CONCLUSÃO

Após a apresentação dos resultados e das análises neste trabalho, conclui-se que:

- ✓ O acréscimo da goma de cajueiro em pequenas proporções em relação ao peso do cimento aumenta de forma satisfatória a resistência do concreto;
- ✓ A auto-adensabilidade do CAA produzido com a adição da goma de cajueiro atendeu aos requisitos estabelecidos na literatura técnica para o atendimento de um concreto autoadensável, com: fluidez, capacidade de preenchimento e de passagem entre os obstáculos, com ausência de exsudação e/ou segregação;
- ✓ O fator sustentabilidade está presente com a adição da goma de cajueiro ao concreto devido a redução de até 40,28% do fator água/cimento sem a perder a trabalhabilidade do concreto.

Os ensaios determinaram que para os CPcA_{28dias}, CPsA_{28dias} e CPcGA_{28dias} as resistências médias foram respectivamente de 25,92MPa, 28,82MPa e 36,35MPa, tomando como base os custos elevados de produção para o concreto com aditivo químico (CPcA) em relação ao baixo custo e baixa demanda de produtividade e extração, o concreto produzido com aditivo natural (CPcG), possui enorme viabilidade econômica e grandes resultados finais no que se refere a ganhos de resistência mecânica.

REFERÊNCIAS

AKINPELU, M. A.; ODEYEMI, S. O.; OLAFUSI, O. S.; MUHAMMED, F. Z. Evaluation of splitting tensile and compressive strength relationship of self-compacting concrete. **Journal of King Saud University – Engineering Sciences**. 2017.

ANDRADE, K. C. S. et. al., Goma de Cajueiro (*Anacardium occidentale*): Avaliação das modificações Químicas e Físicas por Extrusão Termoplástica. **Polímeros**, v.23, n. 5, p. 667-671, 2013.

ASLANI, F.; NEJADI, S. Mechanical properties of conventional and self-compacting concrete: An analytical study. **Construction and Building Materials**. 36, p. 330-347, 2012.

BARROS, P. G. dos. S. **Avaliação das propriedades de durabilidade do concreto auto-adensável obtido com resíduo de corte de mármore e granito**. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

BEYGI, M. H. A. *et al.* Evaluation of the effect of maximum aggregate size on fracture behavior of self compacting concrete. **Construction and Building Materials**. 55, p. 202-211, 2014.

BOTELHO, M. L. – **Propriedades físico-químicas do exsudado de *Anacardium occidentale* L. para a indústria de alimentos**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil (1999).

BRASILEIRO, L. L. Utilização de Agregados Reciclados Provenientes de RCD em Substituição ao Agregado Natural no Concreto Asfáltico. **Diss. Mestrado, Universidade Federal do Piauí, PI**, 2013.

CALADO, C. F. de A.; CAMÕES, A.; JALALI, S.; BARKOKÉBAS JÚNIOR, B. **Concreto Auto-Adensável (CAA), mais do que alternativa ao concreto convencional (CC)**. Recife: EDUPE, 2015.

CALADO, C. F. de A.; CAMÕES, A.; ANDRADE, T.; RIBEIRO, J.; BARKOKÉBAS JÚNIOR, B. **Estudo de viabilidade econômica do Concreto autoadensável frente ao concreto convencional.** In: Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, 2. João Pessoa. 2016.

CARVALHO, R. C. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2003 / Roberto Chust Carvalho, Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho. – 3. ed.-São Carlos: EdUFSCar, 2012.

CAVALCANTI, D. J. de H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto autoadensável visando sua aplicação em elementos estruturais.** 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

CHEN, J. J., CHAMBERS, D. Sustainability and the impact of Chinese policy initiatives up on construction. **J. Construction Management and Economics**, 17, 679-687, 1999.

CORINALDESI, V.; MORICONI, G. The role of industrial by products in self- compacting concrete. **Construction and Building Materials**. 25, p. 3181-3186, 2011.

De Paula, R. C. M.; Heatley, F. & Budd, P. M. – **Polym. Int.**, 1, p.27 (1998).

DESNERCK, P. *et al.* **Survey on the Mechanical Properties of SCC: 20 years of Research.** In: Conference on Our World in Concrete & Structures, 36. Singapore, 2014.

DIAS, J. F. **A construção civil e o meio ambiente.** In: Congresso Estadual de Profissionais CREA – MG. Anais. Uberlândia: CREA, 2004.

DOMONE, M. K. A review of the hardened mechanical properties of self-compacting concrete. **Cement & Concrete Composites**. 29, p. 1-12, 2007.

EFNARC. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use. Reino Unido. 2005. 68 p.

ELYAMANY, H. E.; ELMOATY, A. E. M. A.; MOHAMED, B. Effect of filler types on physical, mechanical and microstructure of self compacting concrete and Flow-able concrete. **Alexandria Engineering Journal**. 53, p. 295-307, 2014.

FOCHS, R. G. **Estudo comparativo entre métodos de dosagem de concreto autoadensável.** Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

Food Ingredients Brasil, 2011. - “Dossiê Gomas-As gomas exsudadas de plantas”, n.17, 26-46p, 2011. Disponível em: Acesso em: ago. 2017.

GOMES, P.C.C. **Optimization and characterization of high-strength selfcompacting concrete.** 139p. Tese - Escola Técnica Superior D’Enginyers de Camins, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya, 2002.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. de. **Métodos de dosagem de concreto auto- adensável.** São Paulo: Pini, 2009.

GIROTTO, L. S. **Investigação da retração plástica e da fissuração da argamassa do concreto auto-adensável.** 221 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.

HEMALATHA, T.; RAMASWANY, A.; KISHEN, J. M. C. Micromechanical analysis of self compacting concrete. **Materials and Structures**. 48, p. 3719-3734, 2015.

JAWAHAR, J. G. *et al.* Effect of coarse aggregate blending on fresh properties of self compacting concrete. **International Journal of Advances in Engineering & Technology**. v. 3, p. 456-466, 2012.

KILBERT, C. Establishing principles and a model for sustainable construction. In: CIB TG 16 **Sustainable construction.Proceeding**. Tampa, Flórida, November 6-9, p.3-12, 1994.

KRAENKEL, T.; LOWKE, D.; GEHLEN, C. **Effect of coarse aggregate on properties of Self-Compacting Concrete**. In: International Symposium on Design, Performance and use of Self-Consolidating Concrete, 2. p. 201-211. Beijing, China. 2009.

LEAL, A. L. S. **Uma Ferramenta na Busca pela Construção Sustentável**. Monografia de Pós-graduação da Escola de Engenharia de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

LEITE, F. C. M. **Influência do tipo de adição mineral e da dimensão máxima do agregado graúdo no comportamento do concreto auto-adensável**. 188 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

LISBÔA, E. M. **Obtenção do concreto auto-adensável utilizando resíduo do beneficiamento do mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas**. 121 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2004.

MANUEL, P. J. M. **Estudo da influência do teor de argamassa no desempenho de concretos autoadensáveis**. 178p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MARQUES, A. C. *et al.* **Comparison of creep of Brazilian self-compacting concretes with different prediction models**. In: International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidation Concrete SCC'2009-China, 2, Beijing. China, 2009.

MARQUES, A. C. **Concreto Auto-adensável: caracterização da evolução das propriedades mecânicas e de estudo da sua deformabilidade por solicitação mecânica**. 175 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 1ª ed. São Paulo, 2014; **IBRACON**.

MELO, K. A. de. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de filer calcário**. 183 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MENDES, C. J. **Concreto autoadensável utilizando cinza da casca de arroz: estudo das propriedades mecânicas**. 93 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista-Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2015.

MENEZES, C. M. de T. **Concreto auto-adensável utilizando metacaulim e pó de pedra como adições minerais**. 121 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

MIRANDA, R. L. Cashew Tree Bark Secretion – Perspectives for its Use in Protein Isolation Strategies. **Open Glycoscience**, v.2, p. 16-19, 2009.

MORAIS, G. M. D. **Diagnóstico da deposição clandestina de Resíduos de Construção e Demolição em bairros periféricos de Uberlândia: Subsídios para uma gestão sustentável**. Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

MORAES, K. A. de M. **Otimização do uso de adições minerais para a produção de concreto auto-adensável**. 210 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

NAGARATNAM, B. H. *et al.* Workability and heat of hydration of self-compacting concrete incorporating agro-industrial waste. **Journal of Cleaner Production**. 112, p. 882-894, 2016.

NEVILLE, A. M., BROOKS, J. J., **Tecnologia do concreto**, 2ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 440p.

NIKBIN, I. M. *et al.* A comprehensive investigation into the effect of aging and coarse aggregate size and volume on mechanical properties of self-compacting concrete. **Materials and Design**. 59, p. 199-210, 2014.

OKAMURA, H.; OUCHI, M. **Self-compacting concrete**. Journal of Advanced Concrete Technology, v. 1, n. 1, p. 5-15, April 2003.

OUCHI, M. **Self-compacting concrete: development, applications and key Technologies**. Conference on Our World in Concrete & Structures, 26, Singapura, 2001.

Portal Brasil, 2013. Disponível em: http://www.portalbrasil.net/historiageral_revolucao_industrial.htm acesso em agosto 2017.

PORTO, B.C.; CRISTIANINI, M. Evaluation of Cashew tree gum (*Anacardium occidentale* L.) emulsifying forms. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, p. 1685-1699, 2013.

RAMALHO, Izola Morais de Medeiros. **Biopolímeros de Goma de Cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) como potencial excipiente farmacêutico**. 28 p. Dissertação. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia). Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande. 2014.

REPETTE, W. L. **Concreto auto-adensável – características e aplicação**. 2006. Disponível em: <http://www.techne.pini.com.br/engenharia-civil/135/artigo285721-1.asp>. Acesso em agosto 2017.

ROLS, W. *et al.* Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete. **Cement and Concrete Research**. 29, p. 261-266, 1999.

SHI, C. *et al.* A review on mixture design methods for self-compacting concrete. **Construction and Building Materials**. 84, p. 387-398, 2015.

SILVA, D. A. **Obtenção e caracterização de micropartículas utilizando a goma de cajueiro**. 109 p. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande. 2013.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Método para dosagem de concreto auto-adensáveis**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2004

VERÇOSA, E.J. Introdução. In: BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção** Vol. 1. 5ed. revisada [reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2008. p. 1-10.

VITA, M. O.; GIROTTO, L. S.; BARBOSA, M. P.; REPETTE, W. L.; MACIEL, G. de F. **Concreto auto adensável: estudo da influência de diferentes tipos de adições minerais na fluidez e no comportamento reológico**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 52, Fortaleza, CE, 2010.

Worldwatch Institute. Estado do Mundo. Salvador: UMA Editora, 1999.

ZENDE, A. A.; KHADIRNAIKAR, R. B. An Overview of the Properties of Self Compacting Concrete. **Journal of Mechanical and Civil Engineering** (IOSR-JMCE). p. 35-43. 2014.

_____. NBR 5738: Concreto-Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, ABNT, 2008.

_____. NBR 5739: Concreto-Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT, 2007.

_____. NBR 7211: Agregados para concreto. Rio de Janeiro, ABNT NM, 2009.

_____. NBR 11578: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, ABNT, 1991.

_____. NBR 12655: Concreto de cimento Portland-Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, ABNT NM, 2006.

_____. NBR 14931: Execução de estrutura de concreto-Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

_____. NBR NM 67: Concreto-Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, ABNT NM, 1996.

_____. NBR NM 248: Agregados-Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, ABNT NM, 2001.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando os resultados, discussões e conclusões abordadas nesta pesquisa, algumas sugestões e perspectivas para trabalhos futuros devem ser destacadas, incluindo:

- ✓ Estudar o comportamento do concreto com goma de cajueiro, buscando otimizar o fator água/cimento, as proporções de massas de cimento e goma de cajueiro, a fim de obter o aumento da resistência, a redução do consumo de água e de cimento;
- ✓ Estudar a perda das propriedades mecânicas do concreto com adição de goma de cajueiro com desforma de 2 dias.