

**FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO: ENGENHARIA CIVIL**

LUIS GUSTAVO DA SILVA NOGUEIRA

MATRÍCULA: 2091623/3

**Utilização de RCD na confecção de um concreto
sustentável**

Brasília
2013

LUIS GUSTAVO DA SILVA NOGUEIRA

Utilização de RCD na confecção de um concreto sustentável

Trabalho de Curso (TC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB - Centro Universitário de Brasília

Orientador: Maruska Tatiana N. da Silva, D.Sc.

Brasília
2013

LUIS GUSTAVO DA SILVA NOGUEIRA

Utilização de RCD na confecção de um concreto sustentável

Trabalho de Curso (TC) apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB - Centro Universitário de Brasília

Orientador: **Maruska Tatiana N. da Silva, D.Sc.**

Brasília, 21 de Novembro de 2013.

Banca Examinadora

Eng^a. Civil: Maruska Tatiana N. da Silva, D.Sc.
Orientadora

Eng^o. Civil: Jocinez Nogueira Lima, M.Sc.
Examinador Interno

Eng^o. Civil: Carlos Eduardo Luna de Melo, D.Sc.
Examinador Externo

SUMÁRIO

1. RESUMO	14
2. INTRODUÇÃO.....	16
OBJETIVOS	18
3.1. Objetivo Geral	18
3.2. Objetivo Específico	18
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
4.1. Intemperismo	19
4.1.1. Tipos de Intemperismo.....	19
4.1.1.1. Intemperismo Físico	19
4.1.1.2. Intemperismo Químico	20
4.2. Formação dos Solos	22
4.2.1. Material de Origem.....	23
4.2.2. Clima.....	23
4.2.3. Relevo.....	24
4.2.4. Organismos.....	25
4.2.5. Tempo.....	26
4.2.6. Perfil do Solo.....	26
4.3. Formação das Rochas	30
4.3.1. Rochas.....	30
4.3.2. Rochas Ígneas	32
4.3.3. Rochas Sedimentares	33
4.3.4. Rochas Metamórficas	34
4.4. Concreto Armado.....	36
4.4.1. A História do Concreto	36
4.4.2. Materiais	38
4.4.2.1. Cimento	38
4.4.2.2. Agregados Graúdos e Miúdos	44
4.4.2.3. Água	45
4.4.2.4. Aditivos.....	46
4.4.3. Cimento "verde"	46
4.4.4. Tipos de Concreto.....	47

4.4.5. Concreto Sustentável	49
4.4.5.1. Características do Concreto Reciclado	50
4.4.6. Traço do Concreto	51
4.5. Certificação de Sustentabilidade	52
4.5.1. Impactos socioeconômicos	52
4.5.2. Certificação LEED.....	53
4.5.3. Certificação AQUA.....	55
4.6. Resíduo da Construção e Demolição (RCD).....	56
4.6.1. Histórico.....	56
4.6.2. Definição.....	57
4.6.3. Caracterização do RCD	58
4.6.3.1. Resolução CONAMA N° 307	59
4.6.4. Legislação e normas para o RCD	61
4.6.4.1. Legislação e normas para a utilização do RCD pelo mundo.....	63
4.6.5. Impacto ambiental pelo resíduo da construção	63
4.6.6. Aspectos econômicos na utilização do RCD	64
5. MATERIAIS E METODOLOGIA DE TRABALHO	67
5.1. Materiais	67
5.2. Caracterização dos Materiais	75
5.3. Confeção dos Corpos de Prova de concreto	81
5.3.1. Traço de concreto	81
5.3.2. Confeção do concreto	82
5.3.3. Realização dos ensaios com os corpos-de-prova	86
6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	90
6.1. Apresentação dos resultados.....	90
6.1.1. Análise granulométrica.....	90
6.1.2. Absorção de água.....	93
6.1.3. Determinação do material fino	95
6.1.4. Resistência à compressão axial.....	96
6.1.4.1. Concreto Tipo 01 (RCD não lavado + CP III).....	97
6.1.4.2. Concreto Tipo 02 (Agregados naturais + CP II-32).....	99
6.1.4.3. Concreto Tipo 03 (RCD lavado + CP III).....	100
6.2. Análise dos Resultados.....	102
6.2.1. Resistência a compressão axial.....	102

6.2.2. Módulo de Elasticidade	106
6.2.3. Valor do m ³ de concreto.....	109
7. CONCLUSÃO	111
7.1. Sugestões para pesquisas futuras	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil de rochas metamórficas e graníticas em relevo suave.....	28
Figura 2 – Perfil de rochas metamórficas e graníticas em serra.....	29
Figura 3 - Ciclo das Rochas.....	31
Figura 4 - Evolução média de resistência a compressão dos vários tipos de cimento portland.....	42
Figura 5 - Localização da Obra do Vitrium.....	68
Figura 6- Localização da Empresa Engemix.....	69
Figura 7- Materiais utilizados na confecção do concreto convencional.....	69
Figura 8- Localização Areia Bela Vista.....	70
Figura 9 - Britador de mandíbulas.....	71
Figura 10 - Detalhe esteira e esteira magnetizada.....	71
Figura 11- Material beneficiado e material bruto.....	72
Figura 12- Britador elétrico.....	73
Figura 13- Cimento CP III de Alto forno.....	74
Figura 14 - Material no ensaio de peneiramento.....	77
Figura 15 - Ensaio de Absorção de água.....	78
Figura 16 - Ensaio de Determinação de materiais finos.....	80
Figura 17- Comparação visual da limpidez entre a água, antes e depois da lavagem.....	80
Figura 18- Materiais para a fabricação do concreto sustentável.....	83
Figura 19 - Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone para o concreto sustentável com agregados não lavados.....	84
Figura 20- Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone para o concreto convencional.....	85
Figura 21 - Máquina para o ensaio de compressão axial.....	87
Figura 22- Ensaio de compressão de corpos-de-prova, concreto sustentável a 14 dias.....	88
Figura 23- Curva granulométrica do RCD.....	91
Figura 24- Curva granulométrica da areia reciclada.....	92
Figura 25 - Resistência à compressão (f_c) aos 7, 14 e 28 dias dos concretos Tipo 01 e Tipo 03.....	102
Figura 26 - Resistência à compressão (f_c) aos 7, 14 e 28 dias dos concretos Tipo 01, 02 e 03.....	104
Figura 27 - Resistência característica à compressão (f_{ck}) aos 28 dias dos concretos Tipo 01, 02 e 03.....	105
Figura 28 - Módulo de Elasticidade (E_{ci}) aos 7, 14 e 28 dias dos concretos Tipo 01, 02 e 03.....	107

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características das rochas ígneas.....	33
Tabela 2 – Principais características das rochas metamórficas.	35
Tabela 3 – Composição dos cimentos portland comum e composto.....	41
Tabela 4 – Composição dos cimentos portland de alto-forno e pozolânicos.	41
Tabela 5 - Custo do gerenciamento de resíduos de construção.	65
Tabela 6 - Valores de Venda de agregados na empresa Areia Bela Vista	67
Tabela 7- Série de peneiras.....	75
Tabela 8- Massa mínima de material a ser ensaiado.....	76
Tabela 9- Massa mínima de material a ser ensaiado.....	77
Tabela 10 - Massa mínima de material a ser ensaiado.....	80
Tabela 11- Limites para a utilização de agregados miúdos em concretos.....	93
Tabela 12- Resultados do ensaio de absorção de água.	94
Tabela 13 - Resultados do ensaio de absorção de água.	94
Tabela 14- Características do concreto Tipo 01.....	97
Tabela 15 - Resultados dos ensaios de compressão axial para o concreto Tipo 01.	98
Tabela 16 - Características do concreto Tipo 02.....	99
Tabela 17- Resultados do ensaio de compressão axial para o concreto Tipo 02.....	99
Tabela 18- Características do concreto Tipo 03.....	101
Tabela 19- Resultados do ensaio de compressão axial para o concreto Tipo 03.....	101
Tabela 20 - Módulo de Elasticidade (Eci) dos concretos confeccionados.	106
Tabela 21 - Valores médios do módulo de elasticidade, módulo de elasticidade de acordo com a expressão de previsão da NBR 6118:2007, da resistência à compressão e da resistência característica das amostras das concreteiras CA, CB e CC aos 28dias.....	108
Tabela 22 - Preços dos componentes do concreto sustentável e convencional.....	109

ÍNDICE DE SÍMBOLOS

%.....	Por cento
°C.....	Graus Celsius
A.....	Absorção de Água
A/C.....	Relação Água/Cimento
C.....	Consumo de Cimento
cm.....	Centímetro
CO ₂	Dióxido de Carbono
D.....	Diâmetro
d.....	Massa Específica do Agregado Seco
da.....	Massa Específica Aparente
ds.....	Massa Específica do Agregado Saturado
Eci.....	Módulo de Elasticidade tangente inicial
F.....	Carga máxima obtida no ensaio
fc.....	Carga de ruptura à compressão
fcj.....	Resistência média à compressão
g.....	Gramas
GPa.....	Gigapascal
H.....	Relação Água/Materiais Secos
h.....	Altura
Kg.....	Quilogramas
KN.....	Quilonewton
m.....	Metro
mm.....	Milímetro

MPa.....Megapascal
Sd.....Desvio Padrão
t.....Tonelada
V.....Volume
 αTeor de Argamassa
 μmMicrômetro

ÍNDICE DE ABREVIações

ABCP.....	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a.C.....	Antes de Cristo
AQUA.....	Alta Qualidade Ambiental
ASHRAE.....	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
ASTM.....	American Society for Testing and Materials
CAESB.....	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CONAMA.....	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP I.....	Cimento Portland Comum
CP II.....	Cimento Portland Composto
CP III.....	Cimento Portland de Alto Forno
CP IV.....	Cimento Portland Pozolânico
CP V-ARI.....	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
CPB.....	Cimento Portland Branco
CPP.....	Cimento Portland para Poços Petrolíferos
CSTB.....	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
CUR.....	Commissie vor Uitvoering van Research
DOE.....	Department of Energy
EPA.....	Environmental Protection Agency
FGV.....	Fundação Getúlio Vargas
HQE.....	Haute Qualité Environnementale
IAEG.....	International Association for Engineering Geology for the Environment
IBGE.....	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRACON.....	Instituto Brasileiro do Concreto
IESB.....	Instituto de Educação Superior de Brasília

I&T.....Informações e Técnicas - Gestão de Resíduos
ISSMGE.....International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering
LEED.....Leadership in Energy and Environmental Design
NBR.....Norma Brasileira
NM.....Norma MERCOSUL
QAE.....Qualidade Ambiental do Edifício
RCC.....Resíduo da Construção Civil
RCD.....Resíduo da Construção e Demolição
RILEM.....The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures
SGE.....Sistema de Gestão do Empreendimento
SINDUSCON.....Sindicato da Indústria da Construção
SLU.....Serviço de Limpeza Urbana
SOFN.....Setor de Oficinas Norte
UniCeub.....Centro Universitário de Brasília
USGBC.....Unites States Green Building Council
USP.....Universidade de São Paulo
WGBC.....World Green Building Council

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, para que não haja equívocos e esquecer alguém que ajudou diretamente ou indiretamente, para o desenvolvimento desta pesquisa, agradeço de forma geral, pela ajuda de todos, e:

À professora Maruska Tatiana Nascimento da Silva pela orientação durante todo o trabalho, sempre com disposição a ajudar em todas as dúvidas sobre o tema em questão.

À professora Irene Joffily pela colaboração e esclarecimentos sempre oportunos.

Aos técnicos do laboratório de materiais de construção do UniCeub, Vanilson, Dida e Régis, a ajuda prestada em todos os ensaios necessários para a elaboração deste trabalho.

À empresa Odebrecht que se dispôs a ajudar em tudo o que lhe cabia, fornecendo a obra do Vitrium como base da pesquisa e em especial aos Engenheiros, Elio Luiz de Lima e Gabriel Motta que disponibilizaram todas as informações necessárias para a pesquisa e principalmente os materiais utilizados.

À empresa Areia Bela Vista, pela ajuda fornecendo todo o material reciclado para a confecção do concreto sustentável, em especial ao amigo Pedro Felipe Camara de Oliveira que se dispôs a esclarecer todas as dúvidas sobre os materiais e fornecendo todos os dados necessários.

À empresa Ecta Engenharia, Arquitetura & Controle Tecnológico pelo fornecimento do traço utilizado para a fabricação dos concretos e em especial ao engenheiro civil Jocinez Nogueira, esclarecendo todas as dúvidas que surgiram ao decorrer do trabalho.

À empresa Engemix pelo fornecimento dos materiais convencionais para a confecção do concreto convencional.

A todos os meus colegas de curso que me acompanharam durante toda a graduação e em especial aos colegas Alex Torres de Sousa e Lorena Viana Ferreira que colaboraram nos ensaios e na parte teórica deste trabalho.

1. RESUMO

O grande avanço da construção civil trouxe benefícios para a população, mas este crescimento acelerado causou muitos danos ao meio ambiente, principalmente com os materiais de demolição e construção que compõem a maior parcela do resíduo urbano. Com o objetivo de minimizar este impacto, muitos estudos estão sendo realizados para reutilizar estes materiais, dando-os uma segunda vida, diminuindo a quantidade de materiais depositados nos lixões, aterros controlados e nos aterros sanitários, aumentando a vida útil dos mesmos. O objetivo deste trabalho foi a reutilização do RCD (Resíduo da Construção e Demolição), em substituição aos agregados que compõem o concreto, tanto a brita quanto a areia, para que alcançassem resistência característica para o seu possível emprego em projetos estruturais. Para todos os agregados foram realizados os ensaios de caracterização para que se pudesse produzir os concretos da melhor maneira possível. Foram confeccionados três tipos de concretos: um com 100% de brita nº 01 reciclada e areia reciclada não lavada, o segundo foi realizado totalmente com materiais naturais (concreto convencional) e o terceiro concreto foi feito também com 100% de agregados reciclados, mas com uma pré-lavagem dos mesmos. Dois concretos foram produzidos com o mesmo traço, para o terceiro houve o acréscimo de cimento e água em pequenas proporções, para melhorar seu abatimento. Como resultado desta pesquisa observou-se que o concreto com agregados reciclados, mesmo não atingindo a resistência característica em projeto para o traço de um concreto convencional, atingiu valores consideráveis, podendo, de acordo com os ensaios realizados, ser utilizado como concreto estrutural. Para o primeiro concreto sustentável (todos os agregados reciclados) a resistência característica foi de 24,2 MPa, para o concreto convencional, que foi produzido a fim de se obter um parâmetro de comparação, a resistência característica atingida foi de 24,8 MPa e para o concreto número três, com uma pequena modificação no traço, sua resistência característica foi de 22,2 MPa. Os resultados do módulo de elasticidade, para os três concretos foram satisfatórios, atingindo índices equivalentes a concretos convencionais utilizados em obras de engenharia.

Palavras-chave: concreto, RCD, sustentabilidade.

ABSTRACT

The breakthrough construction brought benefits to the population, but this accelerated growth has caused a lot of damage to the environment, especially with the construction and demolition materials that compose the largest portion of municipal waste. In order to minimize this impact, many studies are being conducted to reuse these materials, giving them a survival, decreasing the amount of material deposited in garbage dumps, controlled landfills and sanitary landfills, increasing their useful life. The objective of this study was to reuse the RCD (Waste Construction and Demolition), replacing the aggregates that compose the concrete, both the crushed stone as sand, that they reached characteristic resistance to its use in structural projects. For all aggregates were performed characterization tests so that they could produce the concrete in the best way possible. Were prepared three types of concrete: one with 100% recycled crushed stone No. 01 and recycled sand, both not washed, the second was made entirely from natural materials (conventional concrete) and the third concrete was also done with 100% recycled aggregates but with a pre-wash of them. Two concretes were produced with the same trait, for the third was the addition of cement and water in small proportions to improve your abatement. As a result of this research showed that the concrete with recycled aggregates, not even reaching the resistance characteristic in project to the trait of a conventional concrete, reached considerable values, that according to tests performed can be used as structural concrete. For the first concrete development (all recycled aggregates) resistance characteristic was 24,2 MPa, for conventional concrete, which was produced in order to obtain a comparison parameter, the resistance characteristic attained was 24,8 MPa, and the concrete number three, with a small modification to the trait, its resistance characteristic was 22,2 MPa. The results of the modulus of elasticity for the three concretes were satisfactory, reaching levels similar to conventional concrete used in construction engineering.

Keywords: concrete, RCD, sustainability.

2. INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade deve ser interpretado em seu sentido amplo, conciliando os aspectos econômicos, ambientais e sociais. Hoje os aspectos ambientais estão em maior destaque, por serem mais citados na mídia e nas estratégias de marketing, mas para que se tenha um desenvolvimento sustentável, que é o foco principal, o tripé ambiente-economia-sociedade deve seguir unido, caso contrário o objetivo não será alcançado, que é fazer a economia evoluir, atendendo às expectativas da sociedade e mantendo o ambiente sadio para esta e para as futuras gerações. (AGOPYAN e JOHN, 2011)

O setor da construção civil é um dos mais importantes para atender as necessidades de toda a sociedade, fornecendo abrigo, infraestrutura, construindo edifícios com o objetivo de prover educação, saúde, trabalho e moradia, mas por outro lado, este mesmo setor é o responsável por uma parcela significativa do consumo de recursos naturais, além de gerar a maior parte dos resíduos sólidos e emissão de gases, aumentando o efeito estufa. (TAKAOKA, 2011)

A construção civil, sendo um dos setores mais poluentes, tem como sua principal fonte poluidora a produção de cimento, que hoje é o material artificial de maior consumo no mundo. Para a produção do cimento é necessária a decomposição do calcário em fornos a altas temperaturas, cada tonelada de calcário libera 440 kg de CO₂ e gera apenas 560 kg de material. (AGOPYAN e JOHN, 2011)

Um fator que reduz a emissão de CO₂ no meio ambiente é a substituição do clínquer, cuja produção é responsável pela geração do dióxido de carbono tanto pelo calcário quanto da operação do forno, pela escória de alto-forno proveniente da fabricação do ferro gusa e de materiais pozolânicos produzidos pela calcinação de argilas. Nos cimentos CP-II o teor de clínquer varia entre 47% e 85%, já para o cimento CP-III o teor de clínquer reduz para apenas 25%, sendo substituído pela escória de alto-forno podendo conter até 70% da massa do cimento. Como o gasto de energia para a moagem do cimento é baixa, o teor de CO₂ é reduzido, proporcionalmente, com

o teor de clínquer. Por isso que a utilização de cimentos com baixo teor de clínquer como o CP-III e o CP-IV é ambientalmente muito benéfica. (AGOPYAN e JOHN, 2011)

Para esta pesquisa buscou-se aplicar o conceito de sustentabilidade na confecção de um concreto sustentável, elaborado com RCD e com o cimento do tipo CP III, tendo em vista atingir uma resistência a compressão viável para as obras de engenharia.

E ainda, reduzir os resíduos lançados na natureza assim como utilizar um tipo de cimento menos poluente.

Este trabalho apresenta inicialmente no capítulo 3 os objetivos da pesquisa, geral e específicos. No capítulo 4 tem-se a revisão bibliográfica, no qual são apresentados conceitos relacionados a formação dos solos chegando às rochas, seguindo os conceitos relacionados ao concreto armado, aos certificados de sustentabilidade cedidos para obras com um conceito de preservar a natureza e melhorar o ambiente ao redor e ao Resíduo de Construção e Demolição (RCD) com seu conceito, classificação e aplicações. A intenção da citada Revisão Bibliográfica foi iniciar na exploração referente aos agregados, inclusive revivendo todo o processo de transformação da rocha em solo com o objetivo de ascender a importância dos recursos naturais que passaram milhões de anos para existirem na forma que observa-se na natureza. No capítulo 5 são apresentados os materiais utilizados para esta pesquisa e toda a metodologia de ensaio dos materiais e da confecção dos concretos. O capítulo 6 é referente às apresentações dos resultados obtidos pelos ensaios relacionados ao capítulo anterior e a análise dos mesmos.

OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é estudar algumas possibilidades de utilização dos Resíduos da Construção e Demolição da construção civil (RCD) em substituição aos agregados graúdo e miúdo para a produção de concreto estrutural, e ainda comparar um concreto convencional com aqueles confeccionados com o citado RCD e o cimento do tipo CP III.

3.2. Objetivo Específico

Esta pesquisa tem como objetivos específicos os seguintes itens:

- Caracterizar o RCD de acordo com as normas técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas);
- Estudar um traço convencional adaptado ao traço com o RCD em substituição à areia e à brita;
- Analisar a resistência a compressão das misturas propostas no item anterior, tendo em vista comparar os resultados do concreto convencional com o sustentável;
- Analisar os custos de um concreto convencional e o concreto sustentável proposto na pesquisa;
- Sugerir por meio dos resultados obtidos de acordo com a sequência anterior a substituição em obra do concreto convencional pelo sustentável.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Intemperismo

Para a engenharia civil o solo possui objetivos e enfoques diferentes das outras áreas que o estudam. Podemos defini-lo como material escavável, que perde sua resistência quando em contato com a água. (SALOMÃO e ANTUNES, 2001)

O desenvolvimento do solo se inicia com o intemperismo, representado pelos fenômenos químicos, físicos e biológicos, agindo sobre as rochas, formando assim resíduos não consolidados. Estes resíduos submetidos, a um longo período de tempo, aos processos pedogenéticos, passa a desenvolver um verdadeiro solo.

O intemperismo se denomina de acordo com a predominância das modificações físicas, químicas ou biológicas das rochas e minerais. Para a primeira, é classificado como intemperismo físico, já para a segunda, como intemperismo químico, e se houver ação de animais ou vegetais, é denominado intemperismo físico-biológico ou químico-biológico.

4.1.1. Tipos de Intemperismo

4.1.1.1. Intemperismo Físico

O intemperismo físico ocorre com a desintegração física e mecânica das rochas. Este fenômeno acentua-se com as variações térmicas, por ação das águas que se infiltram por meio de fissuras e por ação radicular de determinadas espécies de vegetais.

As rochas, por serem formadas por minerais com diferentes coeficientes de expansão, submetidas a ciclos de aquecimento, pela radiação solar, e resfriamento, dão origem a tensões diferenciadas que conduzem ao fissuramento e às desagregações. Este fenômeno deve-se também a diferenças de condutividade calórica, observadas na superfície da rocha, em relação a sua massa interna, mais protegida. Neste caso, aquecimentos e resfriamentos diferenciais tendem a ocasionar tensões laterais, que poderão contribuir para o fenômeno do desprendimento das camadas superficiais das rochas, fenômeno denominado esfoliação, muito comum em rochas graníticas de regiões de clima tropical. (SALOMÃO e ANTUNES, 2001)

Nas rochas em que há fissuras, fraturas, ou mesmo rochas porosas, é mais fácil a percolação da água e quando a temperatura no seu interior cai consideravelmente, ocorre o congelamento da água. Este estado físico causa uma expansão (aumento de volume) de 9%, produzindo uma pressão equivalente a 1500 MPa (PRINCIPI, 2001), ampliando as fraturas e fragmentando a rocha. Este fenômeno ocorre comumente em regiões de clima frio como o sul e o sudeste brasileiros.

As espécies vegetais também possuem participação, como as raízes profundas que ao penetrar nos vazios das rochas, provocam ampliação de fendas, deslocamentos de blocos rochosos e desagregação. Segundo BUCKMAN e BRADY (2001), "*tais influências, como também as exercidas pelos animais, assumem maior importância na transformação dos materiais originários, quando comparadas com efeitos físicos da água, do gelo, do vento e das variações de temperatura*".

4.1.1.2. Intemperismo Químico

O intemperismo químico tem como principais agentes a água e a temperatura, que com os minerais provenientes da rocha formam reações, dando origem a minerais secundários.

Entre as alterações químicas a mais importante é a hidrólise, principalmente nas regiões de clima tropical e subtropical. Esta reação ocorre principalmente em rochas cristalinas e sua ação varia de acordo com as condições do meio, principalmente do clima.

Além da hidrólise a água provoca mais três reações que, normalmente se processam simultaneamente na natureza: hidratação, dissolução e carbonatação.

A hidratação consiste na combinação de água com os outros compostos químicos, os chamados minerais hidratados. Estes diferentes minerais, constituídos por óxidos de ferro, ocorrem com muita frequência nos solos brasileiros. A cor amarela dos horizontes pedológicos está, muitas vezes, relacionada à goetita e à limonita, em geral, quando os terrenos são mal-drenados e mesmo saturados em água. Nos terrenos bem-drenados é mais comum a ocorrência de hematita, que confere aos solos cor vermelha. (SALOMÃO e ANTUNES, 2001)

A dissolução por ação da água deve-se ao gás carbônico e outras substâncias ácidas, principalmente de natureza orgânica. Este fenômeno ocorre com frequência, mas com intensidades diferentes, dependendo de vários fatores como a quantidade de gás carbônico, acidez das soluções e da natureza dos minerais submetidos à alteração.

A carbonatação ocorre da transformação de óxidos em carbonatos ou destes em bicarbonatos, pelo anidrido carbônico, quando dissolvido na água. (SALOMÃO e ANTUNES, 2001)

Nos processos de intemperismo químico de minerais metálicos, como o ferro e o manganês, fenômenos de oxidação e redução se destacam com muita importância.

Há também as ações biológicas que promovem importantes reações de transformação nos minerais, estas ações são resultados das atividades vitais dos seres vivos que ali habitam e da decomposição de matéria orgânica. Os líquens e os fungos são alguns dos responsáveis por estas transformações sobre a rocha.

4.2. Formação dos Solos

O processo de desenvolvimento do solo se inicia com os citados intemperismos, dois tipos, que agem sobre a rocha, gerando assim resíduos não-consolidados que constituem o substrato pedogenético.

As características do solo vão sendo adquiridas de acordo com o tempo, de forma lenta e gradual. Estes se diferenciam devido a uma série de fatores que agem durante seu processo de formação. Os fatores são:

- Clima - atua principalmente na ação das chuvas e da temperatura;
- Material de origem - interfere na composição, conteúdo mineral e na circulação de água;
- Organismos, vegetais e animais - interferindo no microclima e nas características químicas e físicas;
- Relevo - processos de erosão e sedimentação, interfere também na dinâmica da água e no microclima;
- Tempo - que transcorre sob a ação dos demais fatores.

Segundo BUCKMAN e BRADY (2001), considerando os fatores de formação dos solos, o classificou como "*corpos dinâmicos naturais que possuem características decorrentes das influências combinadas de clima e atividades bióticas, modificadas*

pela topografia, que atua sobre os materiais originários, ao longo de certo período de tempo".

O solo também pode ser classificado em solo residual (autóctone), que é formado no local por desagregação da rocha ou como solo transportado (alóctone), onde os materiais resultantes do intemperismo são transportados por meio de vários agentes, recebendo as denominações a seguir:

- Coluvionar: ação da gravidade;
- Aluvionar: ação de águas correntes;
- Glacial: ação de geleiras;
- Eólico: ação do vento.

4.2.1. Material de Origem

As propriedades físicas e químicas do solo são determinadas pelo tipo de mineral que constitui as rochas. Rochas compostas por minerais ricos em sílica como o quartzo, produzem solos com textura arenosa, enquanto aquelas com minerais como a biotita, olivina, piroxênios e feldspatos, produzem solos argilosos.

4.2.2. Clima

O clima é um importante fator para o processo pedogenético de formação dos solos, sendo de forma direta fazendo mudanças nos minerais das rochas ou

indiretamente pela vegetação. Os aspectos mais importantes são a temperatura e a precipitação pluviométrica.

Pode-se explicar o fator da temperatura pela lei de Vant'Hoff, na qual explica que para cada aumento de temperatura em 10°C a velocidade das reações químicas aumentam de duas a três vezes. Isto também explica o fato de que nas regiões de clima tropical a camada de solo é maior que a camada de solo nas regiões temperadas.

Outro fato interessante da temperatura é a presença de matéria orgânica no solo. Onde o clima é temperado e frio há mais presença deste material, pois os microrganismos que as decompõem se proliferam melhor em temperaturas mais quentes. No Brasil, onde o clima é tropical há matéria orgânica em solos onde há ocorrência florestal como a Amazônia no qual se encontra restos de vegetais.

Na precipitação pluviométrica, a água, além de contribuir para as reações químicas, ajuda no movimento das substâncias pela lixiviação. Este processo ajuda na remoção de substâncias solúveis e insolúveis das camadas de solo, sendo fundamental para a determinação do mesmo. Onde a precipitação é escassa estas substâncias permanecem no local e vão se acumulando, transformando em um solo salino e pouco profundo.

O clima também influencia no tipo de intemperismo que o solo será sujeito, em climas mais secos (frios ou quentes) há a predominância do intemperismo físico e em climas úmidos quem atua mais é o intemperismo químico.

4.2.3. Relevo

O relevo influencia os processos pedogenéticos de acordo com as suas características, dificultando ou não a ação da água e nos processos de erosão e sedimentação. Também deve-se levar em conta a percolação da água no solo.

Se o terreno for muito permeável e com topografia mais suave, a água irá atingir camadas mais profundas e o processo pedogenético ocorrerá com mais rapidez, formando solos mais profundos e muito lixiviados.

Em ambientes onde o terreno é pouco permeável, na época das chuvas ocorre a acumulação de água na superfície, acarretando em solos com grande concentração de sais em sua superfície, se sua topografia for mais agressiva as águas irão escoar pela superfície o que pode causar erosão, retardando o aprofundamento da patogênese. Estas características formam solos rasos e pouco desenvolvidos.

4.2.4. Organismos

A influência da vegetação na formação dos solos ocorre na forma direta pelo fornecimento de resíduos orgânicos e elementos minerais e na forma indireta, evitando as erosões. Os restos de vegetais no solo, com o decorrer do tempo são transformados em húmus que é fundamental para o processo pedogenético.

Não só a vegetação, mas também os microrganismos atuam na evolução do solo, como as bactérias, os líquens e fungos. Eles atuam na decomposição de materiais (animais e vegetais) dispostos no solo, isto gera substâncias que aceleram a decomposição dos minerais do solo.

Dependendo do tipo de vegetação o solo pode ter diferentes características, tendo em vista que, em locais onde há grande concentração de vegetais como as florestas (Floresta Amazônica), há sempre a reposição do húmus pelos restos de vegetais que ali ficam, como as folhas que caem das árvores, já em regiões onde a concentração é menor como no cerrado brasileiro, a quantidade de húmus é bem menos significativa, em uma camada superficial do solo. Além dos vegetais com raízes profundas, os animais que vivem embaixo do solo como as minhocas, os cupins e as formigas, ajudam na percolação da água no solo, evitam os desgastes do solo e

possíveis problemas como a erosão e contribuem na alteração o substrato rochoso e transportam grande quantidade de elementos das camadas mais profundas para posições superiores do perfil. (SALOMÃO e ANTUNES, 2001)

4.2.5. Tempo

Entende-se que o solo é formado por processos dinâmicos e os fatores que o influenciam não devem nunca ser analisados separadamente, mas sim, de uma forma geral que envolva todas as cinco características da pedogênese, o material de origem, o clima, o relevo, os organismos e o tempo.

Para se determinar com a maior aproximação possível da idade de um solo deve-se considerar todos os fatores mencionados anteriormente, como por exemplo, um ambiente quente, com muita precipitação e com uma densa vegetação proporciona melhores condições para os processos pedogenéticos, desenvolvendo o solo mais rapidamente que em um ambiente frio, com pouca vegetação e com um baixo índice pluviométrico. (SALOMÃO e ANTUNES, 2001)

Sendo assim, uma superfície topográfica que é considerada mais antiga que outra na mesma região, não possui necessariamente um solo mais evoluído, ou mais espesso.

4.2.6. Perfil do Solo

As camadas resultantes da decomposição das rochas passaram a ser estudadas devido a sua importância nas atividades que o homem exerce, principalmente na construção.

Vários estudiosos possuem seu próprio modo de caracterizar o solo, o que dificulta uma padronização, gerando uma grande variedade de nomenclaturas. Esta

homogeneização é fundamental para a correlação entre as camadas e as propriedades de modo mais preciso.

Segundo DEERE e PATTON (2001) o perfil de alteração é como a sequência de camadas com diferentes propriedades físicas, formadas *in situ* por processos de alteração física e química, e que permanecem recobrando o maciço rochoso.

Mais recentemente, PASTORE (2001) propôs uma padronização da terminologia dos perfis existentes, tendo como base várias proposições existentes e em conceitos adotados em 1985 pelo Comitê de Solos Tropicais da International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE).

As características de cada horizonte, segundo PASTORE (2001), são descritas a seguir:

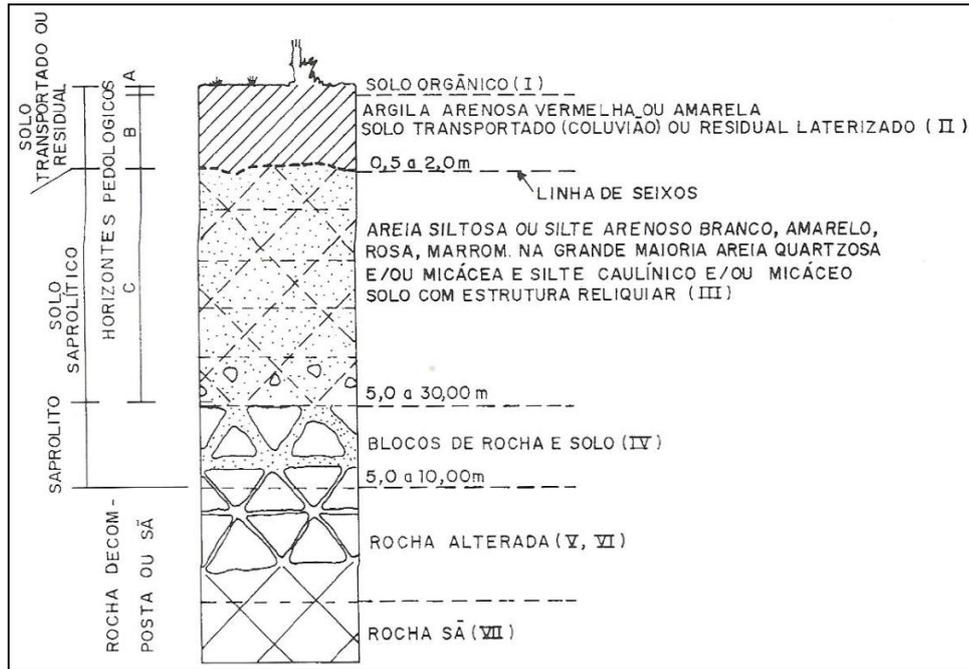
- Horizonte de solo orgânico (I) - Está presente em todos os perfis em uma camada de pequena espessura. É composto de areia, silte e argila, em diferentes proporções, contendo uma quantidade considerável de matéria orgânica. Corresponde ao horizonte A.
- Horizonte laterítico (II) - São formados por solos residuais ou solos transportados, sendo sempre afetado pelo processo pedológico, como a laterização. A curva granulométrica assim como sua espessura são muito variadas neste horizonte, dependendo muito do relevo e da rocha de origem. Corresponde ao horizonte B.
- Horizonte de solo saprolítico (III) - Composto por solo residual, sua característica principal é apresentar a estrutura da rocha matriz, tem cerca de 10%, de blocos de rocha. Também possui granulometria e espessura muito variadas, de acordo com o relevo e com a rocha de origem. As composições mais comuns são areias siltosas pouco argilosas e siltes arenosos pouco argilosos. Os principais minerais

encontrados são o quartzo, a caolinita e a mica. Possui tonalidades branca, creme, roxo e amarelo-claro.

- Horizonte saprolítico ou saprolito (IV) - É a transição do maciço de solo com o maciço rochoso. Possui blocos ou camadas de rochas em várias etapas de alteração, com várias dimensões, envoltos por solo saprolítico. O solo se desenvolve onde a rocha é mais sensível, podendo a água percolar com mais facilidade. A quantidade de blocos varia de 10% a 90%. Tem espessura bastante irregular.
- Horizonte de rocha muito alterada (V) - É o topo do maciço rochoso, com minerais em avançado estágio de alteração e com resistência pior que a rocha sã.
- Horizonte de rocha alterada (VI) - Os minerais começam o processo de alteração, sendo que este horizonte possui resistência maior que o de rocha muito alterada.
- Horizonte de rocha sã (VII) - É composto predominantemente pela rocha sã, cujos minerais apresentam brilho e sem sinais de alteração.

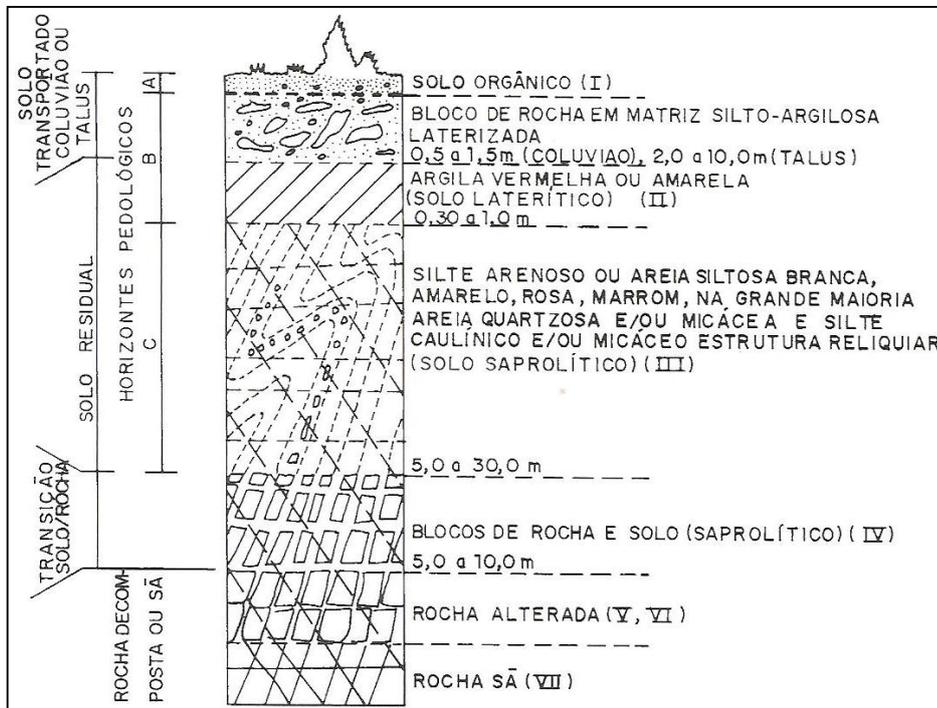
As Figuras 1 e 2 indicam os perfis do solo em suas camadas.

Figura 1 – Perfil de rochas metamórficas e graníticas em relevo suave.



(Fonte: Pastore & Fontes, 2001).

Figura 2 – Perfil de rochas metamórficas e graníticas em serra.



(Fonte: Pastore & Fontes, 2001)

4.3. Formação das Rochas

As rochas, para a engenharia, possuem várias funções, desde a possibilidade de assentar uma fundação ou construir túneis, até usar a própria rocha na sua forma natural (brita), beneficiada (rochas para revestimento) ou até mesmo industrializada (cimento).

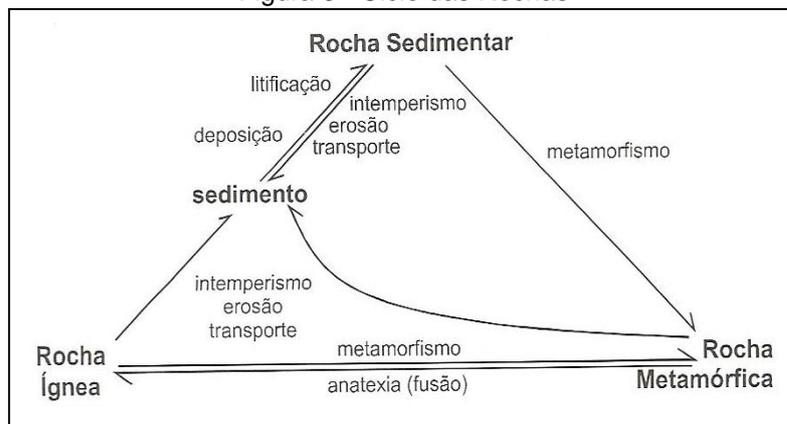
Os estudos dos tipos de rochas, são de suma importância para a sua correta caracterização geológico-geotécnicas, tanto para a prevenção ou correção de efeitos danosos como escorregamentos. A determinação destes aspectos são decisivos para a escolha ou não da utilização de certas rochas em obras civis.

4.3.1. Rochas

A rocha é um corpo sólido natural, formado por agregados de um ou mais minerais, arranjados segundo as condições do ambiente de formação (temperatura e pressão existentes). Estas composições constituem três grandes grupos: ígneas, sedimentares e metamórficas, cada qual com características peculiares. (FRASCÁ e SARTORI, 2001)

Os grupos rochosos se inter-relacionam, evidenciando um caráter cíclico e dinâmico da formação das rochas, como mostrado na Figura 3. Segundo FRASCÁ e SARTORI (2001), a determinação das rochas é feita através das observações nos trabalhos em campo, envolvendo forma de ocorrência, estruturas, tipos rochosos associados e outros. Sua classificação petrográfica é obtida com base na sua mineralogia, arranjo textural e granulometria. O conjunto destes parâmetros define o comportamento mecânico das rochas.

Figura 3 - Ciclo das Rochas



(Fonte: Frascá & Sartori, 2001)

A IAEG (2001) propôs os principais critérios para a classificação das rochas, valendo ressaltar que as propriedades físicas exibidas pelas rochas hoje, são resultados de combinações dos efeitos de formação e das alterações ao decorrer de sua história evolutiva.

Para a determinação das características de cada tipo de rocha, podem ser usados dois tipos de critérios, as feições macroscópicas que podem ser determinadas em campo sem a necessidade de aparelhos sofisticados e as feições microscópicas que é uma análise mais profunda, onde há a utilização de microscópios polarizadores.

Nas feições macroscópicas ou de amostras de mão, pode-se caracterizar três aspectos das rochas, a sua estrutura que compreende a orientação e as posições de massas rochosas em uma determinada área, as discontinuidades que refere-se a qualquer estrutura geológica que interrompa, ou possa interromper, quando submetida a certas cargas, a continuidade física da rocha (juntas, falhas, fraturas ou fissuras) e a cor que apesar de ser subjetivo e, muitas vezes, variável em um mesmo tipo de rocha, é característico para um determinado corpo rochoso.

Nas feições microscópicas, pode-se observar cinco características das rochas, a presença de minerais secundários que determinam a estabilidade física e química da rocha ante as condições em que serão empregadas, a presença de minerais deletérios que são minerais que podem provocar efeitos prejudiciais quando

da sua aplicação em obras civis, a textura que é o arranjo microscópico dos minerais, a granulometria que se refere aos tamanhos dos grãos e as microestruturas que também são determinantes para a maior ou menor resistência mecânica das rochas.

4.3.2. Rochas Ígneas

As rochas ígneas, ou magmáticas, são formadas pela solidificação do magma que se encontra no interior da crosta terrestre. Este tipo de rocha, dependendo do seu local de formação podem ser distinguidas em dois tipos de rocha:

- Plutônicas ou intrusivas: formadas em grandes profundidades, são o resultado do resfriamento e solidificação do magma. Possui material cristalino e geralmente sua granulometria é grossa e de formas definidas. Ao emergir para partes superiores da crosta, a rocha se fragmenta, formando blocos de rochas chamados xenólitos;
- Vulcânicas ou extrusivas: formadas na superfície terrestre, pelo resfriamento das lavas, que é material ígneo lançado pelos vulcões, constitui material cristalino ou vítreo e possui granulometria fina.

De acordo com FRASCÁ e SARTORI (2001), as rochas ígneas são as que melhor apresentam comportamentos geomecânicos e por isso são as mais utilizadas para a engenharia civil. As rochas plutônicas possuem grande resistência mecânica devido a sua homogeneidade do material rochoso, forte coesão e granulometria grossa. Já as rochas vulcânicas compactas, apresentam maior resistência mecânica, mas dependendo da sua constituição física esta característica tende a diminuir.

As rochas ígneas podem ser classificadas de acordo com a sua estrutura física e também pela sua textura. A sua composição química se diferencia de acordo com a quantidade de sílica presente na estrutura dos minerais destas rochas. É

importante ressaltar que os granitos e os basaltos, respectivamente rochas plutônicas e vulcânicas, constituem as rochas ígneas mais abundantes, especialmente no Brasil. (FRASCÁ e SARTORI, 2001)

A Tabela 1 apresenta as principais características das rochas ígneas.

Tabela 1 – Principais características das rochas ígneas.

	ROCHA	ESTRUTURA	TEXTURA	COR	MINERAIS ESSENCIAIS
P L U T O N I C A S	Granito	Maciça	Granular fina a grossa/ porfírica	Cinza a rosa-avermelhada	Quartzo, plagioclásio, feldspato potássico (biotita/hornblenda)
	Diorito	Maciça	Granular fina a grossa	Cinza-escura	Plagioclásio, biotita, hornblenda (quartzo/feldspato potássico)
	Sienito / Nefelina Sienito	Maciça/fluxionar	Granular fina a grossa	Rosa a marrom-avermelhada	Feldspato potássico (biotita/hornblenda) (aegirina) (nefelina/sodalita)
	Gabro/ Diabásio	Maciça	Granular grossa fina a média	Cinza-escura preta	Plagioclásio cálcico, augita, opacos
	Peridotito/ Piroxenito	Maciça	Granular fina a grossa	Preta, esverdeada	Olivina/piroxênio
V U L C Â N I C A S	Riólito	Maciça/vesículo-amigdaloidal	Granular cripto a microcristalina/ porfírica	Cinza a rosada	Quartzo, plagioclásio, feldspato potássico (biotita/hornblenda)
	Andesito	Maciça	Granular cripto a microcristalina/ porfírica	Cinza-escura/ marrom-esverdeada	Plagioclásio, biotita, hornblenda (quartzo/feldspato potássico)
	Traquito	Maciça/fluxionar	Granular cripto a microcristalina	Cinza a verde-escura	Feldspato potássico (biotita/hornblenda) (aegirina)
	Fonólito		porfírica		(nefelina/sodalita)
	Basalto	Maciça/vesículo-amigdaloidal	Granular cripto a microcristalina/ vítrea	Cinza-escura a preta	Plagioclásio cálcico, augita, opacos

(Fonte: Frascá & Sartori, 2001)

4.3.3. Rochas Sedimentares

As rochas sedimentares são resultantes da consolidação de sedimentos, ou seja, partículas minerais provenientes da desagregação e do transporte de rochas preexistentes, ou da precipitação química ou ainda de ação biogênica. Constituem camada fina na crosta terrestre, cerca de 0,8 quilômetros de espessura. Cobrem as rochas ígneas e metamórficas. (FRASCÁ e SARTORI, 2001).

Segundo FRASCÁ e SARTORI (2001), estas rochas se encontram com facilidade nas bacias sedimentares do Paraná, Amazonas, entre outras. São bastante utilizadas como matéria-prima em várias atividades industriais; areia, para vidro e construção civil; carvão, entre outros. Além de ser base de estudos por servirem de reservatório de petróleo e serem jazidas de minérios aluvionares como o ouro, diamante e cassiterita. Para a engenharia são consideradas como rochas brandas, por apresentarem baixas resistências mecânicas e, muitas vezes, friáveis devido a menor coesão dos minerais constituintes.

4.3.4. Rochas Metamórficas

As rochas metamórficas são derivadas de outras rochas preexistentes que, ao decorrer dos processos geológicos, sofreram mudanças mineralógicas, químicas e estruturais, no estado sólido, em resposta a alterações das condições físicas e químicas. Nestas alterações os minerais tendem a se transformar e rearranjar sob as novas condições. Um tipo de alteração é a recristalização, que compreende no aumento de tamanho ou modificação da forma externa, as reações metamórficas mais intensas implicam no aparecimento de novos minerais que retomam o equilíbrio dos componentes das rochas nas novas condições. (FRASCÁ e SARTORI, 2001)

Os vários tipos de rochas metamórficas dependem da sua composição original, das condições de pressão e temperatura e dos fluidos envolvidos, ou seja,

rochas de mineralogia diferentes, apresentarão uma mineralogia metamórfica diversa mesmo sendo submetidas a ações semelhantes.

A seguir na tabela 2, são indicadas as principais características das rochas metamórficas.

Tabela 2 – Principais características das rochas metamórficas.

ROCHA	ESTRUTURA	TEXTURA	COR	MINERAIS ESSENCIAIS
Ardósia	Clivagem ardosiária	Lepidoblástica muito fina	Tons de cinza ou marrom	Sericita, quartzo
Filito	Xistosidade	Lepidoblástica fina	Tons de cinza ou marrom	Sericita, quartzo
Xisto	Xistosidade	Lepidoblástica fina a média	Tons de cinza ou marrom	Micas, quartzo
Gnaisse	Gnáissica	Granolepido/nematoblástica	Tons de cinza, por vezes rosados	Feldspatos, quartzo, biotita e/ou hornblenda
Migmatito	Migmatítica	Granoblástica/grano nemato/lepidoblástica	Tons de cinza, por vezes rosados	Feldspatos, quartzo, biotita e/ou hornblenda
Milonito	Milonítica	Milonítica	Tons de cinza	Sericita, feldspatos, quartzo
Cataclasito	Faturada maciça	Cataclástica	Variada	Variada
Brecha tectónica	Brechada	Variada	Variada	Variada
Hornfels	Maciça	Granoblástica fina/porfiroblástica (mosqueada)	Variada	Variada
Quartzito	Maciça ou foliada	Granoblástica/granolepidoblástica	Branca, com tons verdes ou rosa	Quartzo, sericita
Mármore	Maciça	Granoblástica fina a média	Cinza a branca, com tons verdes ou rosas	Calcita e/ou dolomita
Anfibolito	Maciça ou foliada	Granoblástica/nematoblástica, fina a média	Verde-escura a preta	Hornblenda, plagioclásio
Serpentinó	Maciça / venulada	Lepidoblástica	Verde ou marrom	Serpentina
Esteatito	Maciça	Lepidoblástica	Cinza a marrom	Talco

(Fonte: Frascá & Sartori, 2001)

4.4. Concreto Armado

4.4.1. A História do Concreto

O concreto armado é um material ainda novo. Até o final do século XIX, os métodos construtivos mais usuais eram as estruturas de madeira e alvenaria. Como a madeira, mesmo sendo um material em abundância na época, tem um poder de combustão muito elevado e pouca durabilidade comparada aos outros materiais. (CARVALHO, 2008)

As construções em alvenaria tinham como matéria prima a pedra, o tijolo e os blocos, sendo unidos por um material ligante (argamassa). A alvenaria de pedra foi o primeiro sistema construtivo realizado pelo homem e em regiões com escassez de pedra e madeira desenvolveu-se o tijolo para a sua substituição.

Com a evolução das alvenarias os povos antigos buscavam um material que os unissem de forma coesa, inicialmente foi utilizada a argamassa de barro constituída de argila. Depois veio a descoberta da argamassa de cal, que seria mais durável e mais resistente. Segundo GUIMARÃES (1997), citado por CARVALHO (2008) há vários indícios que o homem conheceu a cal na Idade da Pedra (período Paleolítico).

Os romanos com todo o seu conhecimento, usavam a cal como aglomerante desde 600 a.C. mas o que alavancou a engenharia romana foi a descoberta de um novo material, o Opus Caementicium, cujo o principal material era uma cinza pozolânica que misturada à argamassa de cal se tornava em um material muito parecido ao cimento de hoje. (CARVALHO, 2008)

Após várias tentativas de melhoramento do cimento, em 1824, Joseph Aspdin obteve a patente do Cimento Portland. Desde então o cimento vem sendo usado em todos os tipos de obras civis em todo o mundo. No Brasil, o Cimento Portland passou

a ser usado em 1888, quando o comendador Antônio Proost Rodvalho instalou uma usina em Sorocaba-SP. (CARVALHO, 2008)

Com a descoberta do cimento, não demorou para o desenvolvimento da argamassa armada, um agricultor francês chamado Joseph-Louis Lambot (1814-1887) que construía tanques em cimento com barras de aço, fez um barco em concreto armado que foi apresentado na Feira Mundial de Paris em 1855. Tal protótipo chamou a atenção de um comerciante de plantas ornamentais que pretendia substituir seus vasos de cerâmica e argila por vasos em cimento armado, o comerciante Joseph Monier com o sucesso dos vasos passou a fabricar vários outros produtos com o mesmo material. Mas Monier teve um papel importante no desenvolvimento do concreto armado, pois foi ele que entendeu as características do concreto, no qual era um material com boa resistência a compressão e esmagamento, mas baixa resistência a tração e cisalhamento, foi com este conhecimento que Monier construiu a primeira ponte em concreto armado, utilizando o concreto para combater os esforços a compressão e o aço para combater os esforços a tração. (CARVALHO, 2008)

Um artigo publicado pela Revista de Obras Públicas em 1898, relaciona cerca de 96 estudos científicos em concreto e argamassas de cimento, entre 1850 e 1898, feitos por cerca de 40 autores. Estes estudos, proporcionou um desenvolvimento contínuo do material que acarretou em estruturas mais leves, esbeltas, resistentes e mais bem compreendidas tecnicamente, tornando este material o mais utilizado em construções no mundo.

Muitos foram os pioneiros no estudo desse novo material, o concreto armado, mas, sem dúvida, um de seus mais importantes pesquisadores foi o engenheiro alemão Emil Mörsch, que com vários estudos baseados em ensaios laboratoriais, lançou seu livro *Der Betoneisenbau: Seine Anwendung und Theorie*, o qual teve suas teorias como referência por mais de meio século. (CARVALHO, 2008)

A principal teoria desenvolvida por Mörsch foi o modelo de treliça que ainda é utilizado para a compreensão e fundamentação de vigas em concreto armado

submetidas à flexão e torção, sendo um método prático e confiável para a análise, dimensionamento e detalhamento de elementos em concreto armado. Hoje a norma brasileira NBR 6118:2007 que dá todos os parâmetros para o dimensionamento de estruturas em concreto armado recomenda o uso deste método. (CARVALHO, 2008)

4.4.2. Materiais

O concreto pode ser descrito como uma mistura de materiais em quantidades pré-fixadas, estes componentes são os aglomerantes, água e agregados graúdos e miúdos. Com esta união forma-se uma massa homogênea, com consistência plástica que endurece e ganha resistência com o tempo. Os aglomerantes são o cimento e a cal, já os agregados graúdos e miúdos, a brita e a areia respectivamente.

A norma da ABNT, NBR 6118:2007, regulamenta todas as construções em concreto, dando seus parâmetros e condições de uso.

4.4.2.1. Cimento

O cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, que endurece sob ação da água. Este material é o mais importante na mistura para a formação do concreto e, por isso, deve-se conhecer bem suas características para o emprego adequado em cada tipo de situação. (ABCP, 2002)

O cimento é composto basicamente de clínquer e aditivos, sendo o clínquer o principal produto, presente em todos os tipos de cimento. Os aditivos podem variar de um tipo de cimento para outro e são eles que dão as características distintas para cada tipo de cimento.

O clínquer tem como composição o calcário e a argila, a rocha calcária britada é misturada com a argila moída, passando por um forno à 1450°C estes materiais se fundem gerando o clínquer, que em pelotas sai do forno e é resfriado para ser posteriormente moído. A característica mais importante do clínquer é sua alta resistência mecânica após a hidratação. (ABCP, 2002)

Outras matérias primas que entram na composição do cimento que são os aditivos que podem ser o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos.

O gesso é um material fundamental, pois tem a função de retardar a pega do clínquer quando em contato com a água. Se não houvesse este material o cimento iria endurecer quase que instantaneamente em contato com a água o que inviabilizaria o uso em obras, por isso ele também está presente em todos os tipos de cimento, mesmo que em pequenas quantidades, em geral cerca de 3% em massa.

A escória de alto-forno, que é um subproduto da produção do ferro-gusa, se assemelha muito com a areia. Antigamente este material era desconsiderado por todos, se tornado mais um resíduo inútil, mas pesquisas comprovaram que a escória possui propriedade de ligante hidráulico muito resistente, muito semelhante com o clínquer. Esta descoberta trouxe a escória para a indústria de cimento, misturando-a com o clínquer e o gesso. Este tipo de cimento apresenta melhoria em algumas propriedades como maior durabilidade e maior resistência.

Os materiais pozolânicos são rochas vulcânicas, matérias orgânicas fossilizadas encontradas na natureza, certos tipos de argilas queimadas a altas temperaturas ou derivados da queima de carvão mineral das usinas termelétricas. Como a escória, estes materiais foram descobertos como potenciais aditivos para a indústria do cimento após pesquisas que comprovaram que na forma de pó moído, eles também desenvolvem propriedade de ligante hidráulico. Mas somente com água estas reações não são possíveis, somente com o clínquer que, reagindo com a água, libera hidróxido de cálcio (cal) que assim reage com a pozolona, sendo assim, é um

material propício na fabricação de cimento. Este aditivo oferece maior impermeabilidade nos concretos e nas argamassas. (ABCP, 2002)

Os materiais carbonáticos são rochas moídas que apresentam carbonato de cálcio, como exemplo o calcário. O calcário é empregado ao cimento como elemento de preenchimento, ele penetra nos espaços vazios dos grãos funcionando como um lubrificante. Este material dá ao cimento mais trabalhabilidade.

Na indústria brasileira de cimento portland há vários tipos cimento, variando a sua composição. Os mais comuns no mercado, que são os utilizados com mais frequência na construção civil são:

- Cimento portland comum;
- Cimento portland composto;
- Cimento portland de alto-forno;
- Cimento portland pozolânico.

Já os menos consumidos, por menor oferta ou por suas aplicações específicas são:

- cimento portland de alta resistência inicial;
- cimento portland resistente aos sulfatos;
- cimento portland branco;
- cimento portland de baixo calor de hidratação;
- cimento para poços petrolíferos.

O cimento portland comum (CP) foi o primeiro cimento a ser produzido no Brasil, este, por sua vez, possui somente o gesso em sua composição. A partir do Cimento Portland (CP), que hoje é conhecido como CP I, foi possível a criação dos cimentos portland compostos, que estão entre o cimento portland comum e o cimento

portland com adições. Estas novas composições do CP I passaram a ser chamadas de CP II e tiveram boa aceitação, pois tinha desempenho equivalente ao cimento portland comum, atendia as necessidades das aplicações usuais e em muitas vezes havia alguma vantagem adicional. O CP II é o cimento mais utilizado em todo o país com cerca de 75% da produção industrial brasileira. A seguir, a Tabela 3 mostra os tipos de cimento CP I e CP II:

Tabela 3 – Composição dos cimentos portland comum e composto.

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático	
Comum	CP I	100		-		NBR 5732
	CP I-S	99-95		1-5		
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP IV	94-90	-	-	6-10	

(Fonte: ABCP, 2002)

Os cimentos portland com adições, foi o resultado de várias pesquisas em busca da diminuição do gasto de energia na fabricação dos cimentos CP I e CP II. Uma das alternativas de sucesso foi a adição das escórias de alto-forno e materiais pozolânicos na composição do cimento portland de alto-forno e cimento portland pozolânico respectivamente. Estes materiais, adicionados ao cimento comum, modifica a microestrutura do concreto, diminuindo a permeabilidade, a difusibilidade iônica e a porosidade capilar, aumentando a estabilidade e a durabilidade do concreto. Estes fatores melhoram o desempenho do concreto ante a ação de sulfatos e reações álcali-agregado. Outras características são a diminuição do calor de hidratação, a maior resistência a compressão em idades mais avançadas e mais trabalhabilidade. (ABCP, 2002)

A seguir, a Tabela 4 mostra a composição dos cimentos portland de alto-forno e pozolânico:

Tabela 4 – Composição dos cimentos portland de alto-forno e pozolânicos.

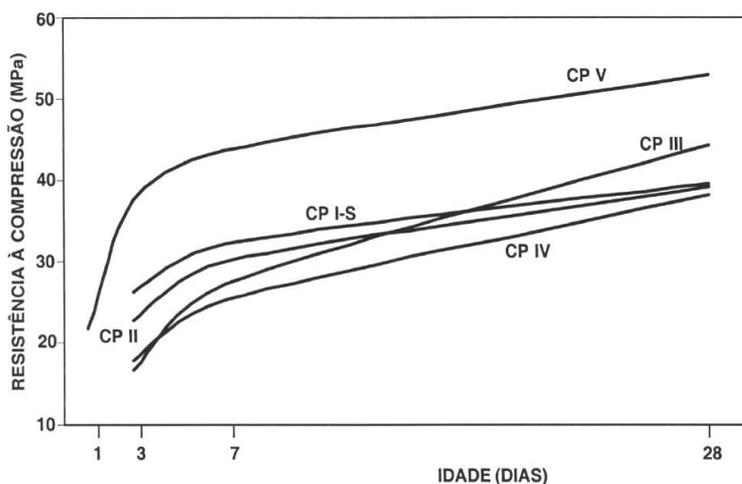
Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático	
Alto-Forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736

(Fonte: ABCP, 2002)

O cimento portland de alta resistência inicial, CP V-ARI, tem a particularidade de atingir altas resistências já em seus primeiros dias de aplicação. Esta característica se dá pela dosagem diferente de argila e calcário na formação do clínquer e pela moagem mais fina do cimento que ao agir com água adquira altas resistências, com maior velocidade. O CP V-ARI possui em sua composição, em porcentagem em massa, 100% de clínquer, 95% de gesso e 0-5% de material carbonático. A norma que o rege é a NBR 5733:1991.

A Figura 4 a seguir, apresenta a evolução média das resistências de vários tipos de cimento.

Figura 4 - Evolução média de resistência a compressão dos vários tipos de cimento portland.



(Fonte: ABCP, 1996)

Outros tipos de cimento portland menos comercializados são os resistentes a sulfatos e os de baixo calor de hidratação. Este primeiro, como o nome já diz, resiste aos ataques de sulfatos, são utilizados em galerias de esgoto, onde há contato direto com águas contaminadas ou em contato direto com a água do mar. Todos os tipos de cimento, CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V-ARI, podem ser resistentes a sulfatos. No momento da sua fabricação são tomados alguns cuidados na dosagem de alguns materiais que fazem com que estes cimentos se tornem mais resistentes a este tipo de agressividade. Já os cimentos com baixo calor de hidratação são utilizados em grandes estruturas de concreto, que com o calor da hidratação podem gerar fissuras térmicas, estas fissuras podem ser evitadas utilizando este tipo de cimento, que pode ser qualquer um dos tipos básicos. O cimento portland resistente a sulfatos e de baixo calor de hidratação são regidos pelas normas NBR 5737:1992 e NBR 13116:1994, respectivamente.

O cimento portland branco se diferencia dos demais tipos pela coloração, este tipo de cimento é regulamentado pela norma NBR 12989:1993, e é dividido em dois tipos, o cimento portland branco estrutural, que possui resistência de 25 MPa, 32 MPa e 40 MPa e o não estrutural. Outro tipo de cimento menos utilizado é o CPP, cimento para poços petrolíferos, regulamentado pela NBR 9831:2006, não possui em sua composição outros materiais além do clínquer e do gesso, a proposta deste cimento é suportar altas pressões e altas temperaturas. (ABCP, 2002)

4.4.2.2. Agregados Graúdos e Miúdos

Os agregados para a construção civil são materiais granulares, sem forma e volumes definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas para o uso em obras de engenharia, podem ser a pedra britada, o cascalho, as areias naturais ou obtidas por moagem de rochas, entre outros. Estes materiais de suma importância para a fabricação do concreto são encontrados em todo o mundo. Porém cabe salientar que por serem naturais podem entrar em estado de escassez na natureza.

Os agregados naturais são aqueles encontrados no meio ambiente, como o cascalho, a areia e o pedregulho, já os artificiais são aqueles que passaram por algum processo industrial, como a pedra britada, areias artificiais, escórias de alto-forno e argilas expandidas.

Segundo LA SERNA e REZENDE (2009) a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui uma norma para estes materiais, a NBR 7211:2009, que possui as características exigíveis para a recepção e produção destes subprodutos do concreto. Dessa forma, define-se como agregado miúdo, areia natural ou resultante de moagem de rocha, ou mistura de ambas, que passam pela peneira de 4,8 mm e ficam retidas na peneira de 0,075 mm. Define também agregado graúdo como pedregulho, britas proveniente de rochas estáveis, ou mistura de ambos, que passam pela peneira de 152 mm e são retidos na peneira de 4,8 mm.

Os agregados para a construção civil são obtidos de materiais rochosos diversos, consolidados ou granulares, fragmentados naturalmente ou por processo industrial. Podem ser oriundos de rochas sedimentares como arenitos e siltitos, metamórficas como os quartizitos, calcários e gnaisses, ígneas como o granito, sienitos, basaltos e diabásios. (LA SERNA e REZENDE, 2009)

De acordo com LA SERNA e REZENDE (2009), em todas as regiões do Brasil possui mineração de areias, cascalhos e rochas para brita. Na região norte estas rochas são escassas devido ao manto sedimentar que as cobre nas regiões de mineração, mas os raros maciços cristalinos são explorados no Amapá, Roraima e Amazonas, lateritos e cascalhos no Maranhão. Na Bacia do Paraná são extraídas as rochas basálticas. Os granitos, gnaisses e calcários são usados como brita principalmente em regiões litorâneas e também no interior dos estados de Goiás, São Paulo e Estados do Nordeste.

Os agregados miúdos, são as areias que podem ser encontradas e extraídas, com devida autorização, em leitos de rios, depósitos naturais de arenitos inconsolidados, aluviões antigos ou recentes, depósitos residuais, solos em alteração, em locais de intemperismo de rochas ricas em quartzo, comuns em zonas de chapadas. As areias de dunas e de praias não são indicadas para a utilização na construção civil, pois apresentam muitos sais. (LA SERNA e REZENDE, 2009)

4.4.2.3. Água

A água para o concreto tem função fundamental, pois em contato com os produtos do cimento começam as reações de hidratação que torna o cimento um material ligante e com resistência após o endurecimento.

Quase todas as águas são apropriadas para o consumo na produção do concreto, mas precauções devem ser tomadas quanto às águas de pântano e rejeitos industriais. Água do mar não é indicada para o concreto armado ou protendido pela quantidade elevada de sais dissolvidos na água, podendo ocorrer a corrosão do aço.

O teor de água no concreto é medido pelo fator água-cimento, que nada mais é a relação entre a massa de água e a massa de cimento utilizados na mistura. Esta relação varia de 0,15 a 1,5, de acordo com o método IBRACON. (HELENE e

TUTIKIAN, 2011). Quanto menor for este índice, maior tende a ser a resistência do concreto mas em contrapartida menor é a sua trabalhabilidade.

4.4.2.4. Aditivos

Hoje os aditivos fazem parte da fabricação de concretos, sendo considerados o quarto elemento da composição, além do cimento, água e agregados. Estes produtos têm a capacidade de alterar as propriedades do concreto fresco ou endurecido e além de serem divididos em várias categorias eles possuem dois objetivos, o de ampliar as qualidades do concreto ou de minimizar seus pontos fracos. (PORTAL DO CONCRETO, 2013)

Eles podem melhorar os concretos nos seguintes aspectos: trabalhabilidade, resistência, compacidade, durabilidade, bombeamento e fluidez, podendo diminuir sua: permeabilidade, retração, calor de hidratação, tempo de pega e absorção de água.

Sabendo de todos os benefícios que os aditivos proporcionam é importante atentar à sua utilização, verificando sempre seu prazo de validade, o momento certo de aplicação, a forma de se aplicar o produto e principalmente a quantidade exata da dose a ser utilizada, pois em quantidades exageradas, os aditivos podem ser prejudiciais ao concreto.

4.4.3. Cimento "verde"

Hoje, com a utilização desenfreada do cimento em todos os tipos de obras, a indústria de cimento produz cerca de 5% de gás carbônico no mundo. Isso ocorre porque é utilizado o clínquer como principal produto, que na sua produção, cada tonelada de calcário libera 440 Kg de CO₂ e gera apenas 560 Kg de material, além do combustível utilizado para o aquecimento do forno. Por isso, para combater este impacto no ambiente é preciso reduzir a quantidade de clínquer em sua fórmula. (AGOPYAN e JOHN, 2011)

O cimento "verde", como é chamado o CP III e o CP IV, possuem em suas fórmulas a substituição de parte do clínquer pela escória de alto-forno e a pozolana, respectivamente. Estes tipos de cimento além de possuir a vantagem ambiental, são melhores que o cimento portland comum em vários aspectos, como mencionado em 4.4.2.1 Cimento, apresentado neste trabalho.

4.4.4. Tipos de Concreto

Atualmente o uso do concreto deve ser analisado para cada tipo específico de obra e para qual finalidade que este irá ser usado. Com este intuito de utilizar o concreto mais adequado, houve o surgimento de vários tipos de concretos variando suas características e seus componentes. Alguns tipos de concretos estão descritos a seguir, de acordo com o site Portal do Concreto:

- **Concreto de Alta Resistência Inicial:** Como o nome já diz este concreto atinge alta resistência em poucos dias de idade, podendo dar mais velocidade à obra ou ser utilizado em situações emergenciais;
- **Concreto Auto Adensável:** Possui uma grande variedade de aplicações e pode ser obtido com aditivos superplastificantes, proporcionando maior facilidade no bombeamento, excelente homogeneidade,

resistência e durabilidade. Indicado para peças densamente armadas e para lajes e calçadas, onde este concreto se auto nivela;

- Concreto de Alto Desempenho (CAD): Possui resistências superiores a 40 MPa, podendo diminuir as dimensões das peças e aumentando a vida útil da estrutura, com a redução da porosidade e da permeabilidade deste concreto;
- Concreto Celular: Está enquadrado no grupo de concretos leves, mas ao invés de utilizar agregados com massa específica mais leve, este tipo de concreto utiliza a adição de uma espuma específica, pode ser aplicado em paredes, divisórias, nivelamento de pisos, entre outros;
- Concreto Ciclópico: Este tipo de concreto nada mais é a adição de pedras em granulações maiores (matacões) ao concreto pronto. Estas pedras são adicionadas posterior mente por não poderem ser misturadas dentro do caminhão betoneira. Estas mesmas pedras devem ser originárias de rochas que tenham as mesmas características dos agregados graúdos do concreto utilizado;
- Concreto Extrusado: Este concreto é aplicado para construção de guias e sarjetas. Deve ser elaborado com brita zero e ter slump de aproximadamente 20 mm para atender às necessidades da máquina extrusora;
- Grout: Pode atingir resistência superior a 25 MPa logo no primeiro dia e passar dos 50 MPa aos 28 dias, os pontos fortes de aplicação estão na recuperação de estruturas, na fixação de equipamentos, no reparo de pisos, entre outros;
- Concreto para Pavimento Rígido: Mesmo sendo mais caro, comparado ao asfalto convencional, para a utilização em estradas este tipo de concreto possui muitas vantagens como a maior resistência e

durabilidade, menor custo de manutenção, economia em iluminação pública, menor risco de acidentes, menor temperatura superficial, entre outras;

- **Concreto para Pisos Industriais:** Por ser utilizado em local de trânsito intenso e sujeito a agentes agressivos, seu controle de qualidade deve ser bem feito em todas as suas etapas, e deve conter características de baixa permeabilidade, elevada resistência à abrasão, baixos níveis de fissuração e um tempo de pega conveniente;
- **Concreto Pré-Moldado:** Pode ser qualquer um dos elementos estruturais que são moldados e adquirem certo grau de resistência antes do seu posicionamento definitivo. Pode ser fabricado em empresas especializadas ou na própria obra, dependendo das condições da mesma;
- **Concreto Rolado:** Possui baixo consumo de cimento e baixa trabalhabilidade, permitindo assim, sua compactação através de rolos compressores. É utilizado em pavimentações urbanas como sub-base por na ter um bom acabamento.

4.4.5. Concreto Sustentável

A construção civil é o ramo de atividade em que mais se gasta recursos naturais e um dos maiores poluidores, cerca de 25% dos resíduos sólidos são gerados por esta área. Com este fato, boa parte dos estudos em engenharia civil são relacionados a sustentabilidade, na tentativa de reduzir este impacto gerado pelas obras e pelas indústrias que abastecem a construção civil. A indústria do concreto está tendo resultados significativos, conseguindo produzir com menos material e poluindo menos o meio ambiente, principalmente com a redução da emissão de CO₂.

Um exemplo de concreto sustentável é o estudo do professor da Universidade de São Paulo (USP), Javier Mazariegos Pablos, que produziu um concreto com a mesma resistência que o convencional, mas utilizando areia de fundição e escória de aciaria. A areia utilizada pelo professor substitui a areia natural em 70%, já a escória substitui a pedra em 100%. Outro fato significativo na pesquisa foi a comprovação que o custo para a produção deste novo modelo de concreto é mais barato, tendo em vista que estes materiais são resíduos das indústrias siderúrgicas e que iriam ser descartados. Este concreto não é indicado para fins estruturais. Segundo Javier, mesmo tendo resistência compatível com o concreto convencional, o concreto sustentável ainda não teve todos os estudos necessários, que levam cerca de 20 anos, para ter a certeza que pode ser implementado em obras como concreto estrutural. (LUGAR CERTO, 2013)

Na busca de um concreto com características compatíveis com os utilizados diariamente em obras, o objeto de estudo deste trabalho é a confecção de um concreto quase que totalmente sustentável, substituindo os agregados graúdos pelos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), os agregados miúdos pela areia reciclada, que nada mais é o RCD britado em granulações menores e a substituição do cimento CP II que é o mais utilizado nas obras, pelo Cimento Portland de alto forno (CP III), que na sua produção gasta-se menos energia e é menor a quantidade de carbono gerado na queima de seus materiais, o tornando assim menos agressivo ao meio ambiente, sendo mais sustentável.

4.4.5.1. Características do Concreto Reciclado

Na produção do concreto reciclado, segundo LEITE (2001), um dos principais aspectos do concreto que são afetados em relação ao convencional é sua trabalhabilidade, devido a forma e textura muito mais áspera e a alta taxa de absorção

de água dos agregados. A menor trabalhabilidade leva ao aumento da quantidade de água das misturas para melhorar esta propriedade, prejudicando outras características do concreto em seu estado endurecido como sua resistência.

Portanto, para a utilização de qualquer material reciclado na mistura de concreto, é necessária a pré-umidificação dos agregados ou a utilização de aditivos superplastificantes que reduzem o transporte de água da pasta de cimento para o agregado seco e poroso. (QUEBAUD et al., 1999; PIETERSEN e FRAAY, 1998; HENDRIKS E PIETERSEN, 1998 citados por LEITE 2001).

4.4.6. Traço do Concreto

O traço de concreto mais usado na prática é em volume, no qual todos os componentes, ou seja, o cimento, a brita, a areia, a água e os aditivos, se utilizados, são misturados em variadas proporções.

Após a determinação do concreto a ser utilizado em obra, entra em cena o trabalho dos laboratórios de engenharia, onde o traço específico para a obra será estudado, buscando as características exatas impostas pelo projeto estrutural.

Para a confecção do traço desejado, os responsáveis pelo estudo tomam todos os cuidados para que a quantidade de materiais utilizados seja exata, pois uma diferença mínima pode mudar as características do concreto sendo prejudicial na execução das estruturas no canteiro de obra. Para que saia tudo como o previsto o modo correto de determinar um traço é utilizando balança, pesando todos os materiais, tendo assim as quantidades exatas, podendo fazer posteriormente, os cálculos das proporções corretos.

Um dos tipos de classificação mais utilizados são os chamados traços ricos e traços pobres, onde os ricos são os concretos com maior quantidade de cimento e os

pobres com menor quantidade. Valendo lembrar que quanto mais cimento um traço possuir, mais resistente o concreto será, mas não esquecendo do fator água/cimento que age diretamente na característica mais importante do concreto que é a resistência.

Para maior entendimento, o traço pode ser expresso em relação a massa ou ao volume, este é representado da seguinte maneira: 1:a:b:água, onde o número um representa a quantidade de cimento, a letra "a" representa a areia e a letra "b" a brita utilizada.

4.5. Certificação de Sustentabilidade

Para engenharia o conceito de sustentabilidade é utilizar os elementos e recursos naturais disponíveis, preservando o planeta para as gerações futuras, baseado nas soluções socialmente justas, economicamente viáveis, ecologicamente corretas e culturalmente aceitas. Segundo MOTTA (2013) o relatório de Bruntland (1987) diz que o conceito refere-se a utilizar os recursos disponíveis no presente sem esgotá-los e comprometer o meio ambiente para as gerações futuras.

Com cerca de 50% de toda a demanda dos recursos naturais e cerca de 50% de todos os resíduos gerados pela atividade humana, a construção civil está sempre no foco de pesquisas para o desenvolvimento sustentável (EDWARDS, 2003 citado por HERNANDES, 2006). Com base nestes dados pode-se dizer que a construção civil possui grande influência nos impactos sociais, econômicos e ambientais. Para tanto, pesquisas que buscam a utilização do RCD de maneira tecnicamente viável tem aumentado bastante no Brasil, porém as mudanças de paradigmas em utilizar materiais não convencionais são, nos dias atuais, um dos principais problemas.

4.5.1. Impactos socioeconômicos

Um estudo realizado pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil de São Paulo (SINDUSCON-SP) e a Fundação Getúlio Vargas (FGV), considerando os dados estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), constatou que o déficit habitacional brasileiro foi cerca de 5,461 milhões em 2011, considerando que os aglomerados subnormais (favelas) possuem 2,175 milhões. Mesmo com este número exorbitante, o percentual em relação a 2007 caiu em 1,3% em termos relativos (relação entre domicílios que faltam e famílias existentes). A região Sudeste foi a que apresentou os menores percentuais, enquanto que a região norte do país possui o pior déficit habitacional. (LOUZAS, 2013)

Mesmo com o número alto de famílias sem moradias, pode-se observar uma melhora ao decorrer dos anos, principalmente em famílias de baixa renda, isto pode ser explicado pelo aumento de empregos, conseqüentemente o aumento da renda, melhores condições de pagamento impostas pelos bancos e principalmente pelos subsídios cedidos pelo Governo com programas do tipo.

Com este impulso na construção civil fica evidente o quantitativo mencionado anteriormente sobre o consumo de matéria prima e resíduos gerados pelas obras, sendo indispensável uma discussão sobre sustentabilidade e um ambiente mais limpo. Com estas discussões diárias, a população, ao longo do tempo vem aperfeiçoando suas atitudes sobre a poluição do meio em que vive e conseqüentemente exigindo produtos ambientalmente sustentáveis e um destes são as moradias e com isto vem forçando as empresas a fazerem empreendimentos sustentáveis com certificados, comprovando o que foi feito ao longo de todo o processo até a liberação completa do empreendimento.

4.5.2. Certificação LEED

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) foi criado pela United States Green Building Council (USGBC) em 1993, mas entrou em operação somente em 2000. Em 2006 foi observado cerca de três mil projetos registrados e 410 projetos certificados, (HERNANDES, 2006). Hoje o LEED está em sua versão 3.0 e somente no Brasil possui cerca de 810 registros e 821 certificados. (GBC BRASIL, 2013)

Segundo HERNANDES (2006), o sistema é baseado em certificações de desempenho, em vez de critérios prescritivos, e toma como referência princípios de normas e recomendações de organismos terceiros com credibilidade reconhecida como: *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE), *American Society for Testing and Materials* (ASTM), *Environmental Protection Agency* (EPA) e *Department of Energy* (DOE).

Com a disponibilização das versões LEED-NC (New Construction), LEED-EB (Existing Buildings) e LEED-CI (Commercial Interiors) o sistema engloba uma variedade de tipologias entre edifícios novos, edifícios existentes e interiores comerciais, respectivamente, (HERNANDES, 2006). Com mais algumas versões em desenvolvimento, o LEED é um dos sistemas com maior influência e abrangência no mercado da construção internacional.

Os fatores pela boa reputação do LEED ao redor do mundo são suas parcerias em todos os setores do seu País de origem, desde empresas privadas ao governo federal e suas derivações. Outro fator é sua credibilidade, já que foi criado segundo as normas internacionais e o mais importante é a criação do World Green Building Council (WGBC), que são centros de pesquisa ao redor do mundo, buscando versões locais de sistemas de avaliação fortemente influenciados pelo LEED norte-americano, como no Canadá com o LEED Canada e a Índia com o LEED India em desenvolvimento. Segundo o WGBC, outros conselhos estão sendo criados e entre eles está o do Brasil. (HERNANDES, 2006)

Segundo HERNANDES (2006), o LEED que é iniciativa do USGBC, certifica edifícios com uma nota de sustentabilidade ambiental de acordo com a quantidade de

créditos alcançados em um checklist de quesitos. Para os edifícios certificados, existe uma divisão de categorias, sendo elas CERTIFIED (certificado), SILVER (prata), GOLD (ouro) e PLATINUM (platina) da menor para a maior nota.

Ao todo são 65 itens de avaliação. Cada item avalia um aspecto diferente do empreendimento. Dentre os itens, sete são pré-requisitos obrigatórios para a certificação e os outros 58 créditos são eletivos, ou seja, que podem ou não serem escolhidos para serem avaliados.

Os aspectos positivos deste modelo de certificação, em resumo, são relacionados à sua influência como sistema de avaliação e não tanto com as qualidades intrínsecas de sua avaliação. Já os aspectos negativos são relacionados mais ao conceito de avaliação do que aos níveis de desempenho de seus quesitos. (HERNANDES, 2006)

4.5.3. Certificação AQUA

O Processo de Alta Qualidade Ambiental (AQUA), foi elaborado pela Fundação Vanzolini, instituição privada sem fins lucrativos, que em 2007 assinou contrato de cooperação com o Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) e com o Certivéa, da França, para adaptar para o Brasil o Referencial técnico - Démarche HQE e realizar a correspondente certificação da construção sustentável.

A certificação AQUA, é definida como sendo um processo de gestão de projeto visando obter a qualidade ambiental de um empreendimento novo ou envolvendo uma reabilitação. O processo se estrutura nos aspectos, como a implementação de um sistema de gestão ambiental, responder aos principais contextos e prioridades ambientais de proximidade, identificados na análise do local do empreendimento e na informação cedida pelo empreendedor aos compradores e

usuários das habitações, estimulando práticas mais eficientes em termos de respeito ao meio ambiente.

A obtenção do desempenho ambiental se deve ao gerenciamento ambiental e a questões arquitetônicas, que envolvam o empreendimento com o meio em que está inserido. Por isso, o AQUA se baseia em dois instrumentos de avaliação dos desempenhos alcançados, o referencial do Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE) e o referencial da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE).

O SGE permite definir a qualidade ambiental visada para o edifício e organizar o empreendimento para alcançá-la, ao mesmo tempo que organiza o conjunto de processos operacionais relacionados às fases de programas, concepção e realização da construção. (PROCESSO AQUA, 2013)

Na QAE, estrutura-se catorze categorias que podem ser separadas por quatro famílias, sítio e construção, gestão, conforto e saúde. Estas categorias representam os desafios ambientais de um empreendimento novo ou reabilitado. Estas 14 categorias são desmembradas nas principais preocupações associadas a cada desafio ambiental, e depois em exigências expressas por critérios e indicadores de desempenho em três níveis, bom, superior e excelente. (PROCESSO AQUA, 2013)

4.6. Resíduo da Construção e Demolição (RCD)

4.6.1. Histórico

Muito se engana quem pensa que a reutilização dos materiais da construção e seu estudo são de épocas recentes, há registros desde a idade dos romanos, da utilização de alvenaria britada para a produção de concreto (SCHULZ & HENDRICKS, citado por LEITE, 2001). Nesta mesma época eram usados cacos cerâmicos,

misturados à cinzas vulcânicas, pasta aglomerante de cal e argila como uma camada para pavimentos (BRITO, 1999 citado por LEITE, 2001).

Principalmente após a Segunda Grande Guerra, com milhões de toneladas de entulho os países se viram obrigados a reutilizar aquele material que com a quantidade exorbitante não teriam local adequado para descartá-lo. Com isto, várias políticas de reutilização de resíduos foram criadas, como exemplo, a Holanda que em 1992 criou o Plano de Implementação dos Resíduos de Construção e Demolição que pretendia reaproveitar 90% de todo o resíduo até o ano 2000.

O primeiro indício de estudos do RCD no Brasil, foi pelo arquiteto Tarcísio de Paula Pinto, que pesquisou sobre a utilização destes materiais na produção de argamassa (PINTO, 1986 citado por LEITE, 2001).

4.6.2. Definição

De forma simplificada, o Resíduo de Construção e Demolição é todo aquele material proveniente de construções, reparos, reformas, demolições de estruturas, estradas e escavação de solo.

Segundo a NBR 15116:2004, que estabelece os requisitos para o emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil, o resíduo da construção é proveniente de implantações, reformas, reparos e demolições de obras e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolo, bloco cerâmico, concreto, solo, rocha, madeira, forro, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, entre outros, comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Outra definição da NBR 15116:2004 é o agregado reciclado que é definido como sendo o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de

construção ou demolição de obras civis, que apresenta características técnicas para a aplicação em obras de edificação e infraestrutura.

Este beneficiamento citado anteriormente é o ato de submeter um resíduo a operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-lo de condições que permitam que seja utilizado como matéria-prima ou produto.

4.6.3. Caracterização do RCD

Todo tipo de resíduo, deve ser devidamente classificado do ponto de vista ambiental, para que tenham o correto manuseio e destinação ambiental. No Brasil a norma que regulamenta este tipo de classificação é a NBR 10004:2004 - "Resíduos Sólidos - Classificação". De acordo com esta norma o RCD se insere na classe II B - inertes, ou seja, são materiais que constituem componentes minerais não poluentes e serem inertes quimicamente. (LEITE, 2001)

Mas alguns estudos reconhecem que esta classificação pode estar equivocada, levando em consideração que o RCD pode conter materiais pesados e em grande volume que, quando descartados indiscriminadamente são verdadeiros focos para depósitos de outros tipos de resíduo, que podem gerar contaminações devido à lixiviação ou solubilização de certas substâncias nocivas. Ou ainda, os próprios resíduos de construção e demolição podem conter materiais de pintura, ou substâncias de tratamento de superfícies, entre outras, que podem percolar pelo solo, contaminando-o. (LEITE, 2001)

Baseado nas determinações da NBR 10004:2004 entre outros, necessidades de enquadramento do RCD da construção civil, foi criada a Resolução CONAMA 307/2002.

4.6.3.1. Resolução CONAMA N° 307

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, criou a resolução de número 307, em 5 de julho de 2002, a fim de estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil (RCC) também conhecido como RCD, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.

Para a criação desta resolução o CONAMA considerou a necessidade de implementação de métodos para a redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos oriundos da construção civil, que quando são dispostos em locais inadequados contribuem para a degradação do ambiente. Outro fato importante é a quantidade significativa deste material que é gerado diariamente nas áreas urbanas em comparação com outros resíduos sólidos.

Os resíduos da construção civil (RCC) são classificados por classes, em que, dependendo da sua composição, podem ou não serem reutilizados. Segue a classificação dos resíduos da construção civil:

"I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

IV - Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros".

Ainda segundo a CONAMA N° 307, os resíduos da construção civil deverão ser destinados das seguintes formas:

"I - Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

II - Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

III - Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

IV - Classe D: deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas".

Em 17 de agosto de 2004, outra resolução foi criada, a CONAMA N° 348, para o aperfeiçoamento da anterior CONAMA 307, ela trata da classificação do amianto, que em exposição ao ser humano, pode ser inalado e causar danos irreversíveis a saúde do mesmo. Segue a seguinte redação:

"IV - Classe "D": são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas,

instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos a saúde".

Mais uma modificação foi realizada na CONAMA 307, pela resolução CONAMA N° 431, de 24 de maio de 2011, que modifica o art 3o que diz sobre a classificação dos resíduos da construção, a seguir:

"II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;"

4.6.4. Legislação e normas para o RCD

Com o avanço da construção civil no Brasil, houve um aumento significativo dos resíduos sólidos urbanos, que passaram a ocupar mais espaço nos locais de descarte, preocupando os governos sobre a destinação destes materiais.

Segundo (PINTO, 1999 citado por LEITE, 2001), o Brasil gera cerca de 150 Kg de RCD por m² construído, representando de 54% à 61% da massa dos resíduos sólidos urbanos. Um exemplo é a região metropolitana de São Paulo que gera cerca de 4,8 milhões de toneladas ao ano, sendo que somente a cidade de São Paulo gera cerca de 18.000 toneladas de RCD por dia. Com estes dados alarmantes o governo de São Paulo criou várias medidas para minimizar este impacto enorme no meio ambiente, com leis e decretos, como a seguir:

Leis municipais da cidade de São Paulo:

- LEI 11.228 DE 25 DE JUNHO DE 1992;

- LEI 13.298, DE 16 DE JANEIRO DE 2002;
- LEI Nº 14.803, DE 26 DE JUNHO DE 2008.

Decretos municipais da cidade de São Paulo:

- DECRETO Nº 42.217, DE 24 DE JULHO DE 2002;
- DECRETO Nº 48.075, 28 DEZEMBRO DE 2006.

Não só no estado de São Paulo mas em todo o Brasil, as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, citadas anteriormente, estão vigentes e devem ser cumpridas a fim de organizar os resíduos gerados pela construção dando-lhes um fim adequado e quando possível a sua reutilização.

No Brasil há também as normas regulamentadoras da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, a seguir:

- NBR 15115:2004 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos;
- NBR 15116:2004 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos;
- NBR 15113:2004 - Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15114:2004 - Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15112:2004 - Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação;

- NBR 10004:2004 - Resíduos sólidos : classificação.

4.6.4.1. Legislação e normas para a utilização do RCD pelo mundo

Em países que a utilização do RCD na construção civil já está inserida na sua cultura, propostas ou diretrizes foram criadas para a especificação do material e sua correta utilização.

Segundo LEITE (2001), vários países já possuem critérios para a caracterização e utilização do material reciclado. Como no Japão, com uma proposição de norma para o uso de agregado reciclado e concreto com agregado reciclado. Há outros como "Especificação para concreto com agregados reciclados - Diretriz proposta pelo Comitê Técnico 121 - DRG do RILEM (The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures)", "Recomendações do CUR (Commissie vor Uitvoering van Research – Comissão de desenvolvimento e pesquisa) para uso de agregado reciclado em concreto - Holanda", "Especificações para uso de agregados reciclados em obras rodoviárias - Estados Unidos", "Utilização de subprodutos industriais e sobras de materiais de construção e de engenharia civil" - Norma Britânica 6543 (1985) – Reino Unido e "Texto adicional a norma regular de concretos - Dinamarca".

4.6.5. Impacto ambiental pelo resíduo da construção

As indústrias, o transporte e todas as demais atividades econômicas não são os únicos causadores dos problemas ambientais a que estamos sujeitos. As construções causam um impacto significativo, utilizando recursos naturais ao decorrer

da própria construção e mesmo depois com o gasto elevado de energia e água, principalmente.

A indústria da construção é uma das mais antigas em todo o mundo e se utiliza de técnicas e materiais que não mudaram muito ao longo do tempo. O concreto, por exemplo, é produzido hoje com a mesma receita básica de anos atrás: água, cimento e agregado, podendo variar apenas com o uso de um ou outro aditivo, que podem levar a alguns efeitos diferenciados. A preocupação com o meio ambiente têm levado todas as indústrias a começar a repensar métodos e técnicas. (LEITE, 2001)

Assim, a utilização de novos materiais, mais benéficos ao meio ambiente, têm sido tentada. A incorporação de materiais reciclados ao concreto pode ser considerada como uma boa ferramenta para a conservação de energia e de recursos naturais, e para aumentar a vida útil das áreas de disposição de resíduos. (GOLDSTEIN, 1995, citado por LEITE, 2001).

Para se ter ideia da dimensão dos problemas causados ao meio ambiente com as atividades da construção foram levantados alguns dados bastante interessantes. O setor é responsável, por exemplo, pelo consumo de 20% a 50% dos recursos naturais extraídos (ALAVEDRA et al., 1997, SJÖSTRÖM, 2000 citado por LEITE, 2001). O consumo de agregados naturais varia de 1 a 8 toneladas/habitante.ano. Segundo GOLDSTEIN (1995), citado LEITE (2001), anualmente é produzido no mundo 1 tonelada/habitante de concreto, mas apesar deste ser um produto que consome menor quantidade de energia quando comparado ao aço, ou ao plástico, sua produção se utiliza de cimento que é atualmente considerado como um dos processos de manufatura com maior consumo de energia. (LEITE, 2001)

4.6.6. Aspectos econômicos na utilização do RCD

A viabilidade financeira de um novo produto deve ser avaliada levando em consideração o valor de mercado do produto, os custos do processo de reciclagem, mais o custo de disposição do resíduo em aterro. (JOHN, 1998b, citado por LEITE, 2001)

Outro aspecto inerente à reciclagem é a difícil aceitação do mercado para a utilização dos produtos. Então, pode haver necessidade de incentivos políticos e fiscais para o encorajamento desta atitude, como, por exemplo, aumento de taxas de disposição de resíduos, ou aumento de taxas de extração de recursos naturais, ou, ainda, incentivos fiscais para utilização de materiais reciclados. (SIMPSON, 1999, citado por LEITE, 2001)

Para a implantação de uma unidade coletora e beneficiadora dos resíduos da construção, o custo é bastante elevado levando-se em conta que o retorno é a longo prazo até pela adaptação das empresas neste novo processo de reciclagem, já para o setor público pode ser mais rentável pois ajudará na limpeza da cidade e na própria utilização do material, diminuindo significativamente a compra de agregados naturais.

Outro motivo para o uso dos materiais reciclados como o RCD é que está ficando cada vez mais caro para as empresas depositarem seus entulhos em locais adequados, os aterros sanitários, pois estão ficando esgotados, não comportando mais material e conseqüentemente pelo aumento das distâncias a serem percorridas.

A Tabela 5 a seguir apresenta os custos do gerenciamento de resíduos de construção em alguns municípios brasileiros.

Tabela 5 - Custo do gerenciamento de resíduos de construção.

MUNICÍPIOS	FONTE	CUSTO
Belo Horizonte/MG	SLU-1993	US\$ 7,92/t
São José dos Campos/SP	I&T - 1995	US\$ 10,66/t
Ribeirão Preto/SP	I&T - 1995	R\$ 5,37/t
São José do Rio Preto/SP	I&T - 1997	R\$ 11,38/t

(Fonte: LIMA, 1999)

Onde: SLU - Serviço de Limpeza Urbana; I&T - Informações e Técnicas, Gestão de Resíduos.

A Tabela comprova que a reciclagem gera fonte de economia para a obtenção de materiais para a construção. Segundo LIMA (1999), citado por LEITE (2001) gerenciar resíduos, ou seja, removê-los e aterrâ-los, é mais dispendioso que reciclá-los.

No estado de São Paulo, mais especificadamente na região metropolitana de São Paulo, onde o desenvolvimento da cidade é incessante, há uma quantidade enorme de resíduos gerados pelas obras e como resposta a este movimento foi a criação de várias empresas especializadas na coleta e reciclagem do resíduo da construção civil. Segundo informações da empresa Estação Resgate Reciclagem e Engenharia Ltda., para a coleta destes materiais as empresas estipulam um valor que varia de região para região, na cidade de São Paulo o preço da caçamba, aproximadamente 4m³, de resíduo varia de R\$350,00 à R\$400,00, na Grande São Paulo varia de R\$250,00 à R\$300,00 e no interior do estado varia de R\$120,00 à R\$150,00. Estes valores tendem a diminuir com a presença de aterros clandestinos para a destinação indevida destes materiais.

Em relação a mesma região do estado de São Paulo, os preços de venda do RCD beneficiado, como os agregados graúdos e miúdos, brita e areia respectivamente, variam de R\$25,00 a R\$20,00 o m³, diferenciando muito dos produtos naturais que custam de R\$60,00 a R\$70,00 a brita natural e de R\$45,00 a R\$55,00 a areia natural. Esta discrepância nos valores dos dois tipos de material aumenta mais a possibilidade da substituição dos agregados naturais para os agregados reciclados.

Na região de Brasília, Distrito Federal, onde a cultura para a utilização dos agregados não convencionais é menor e onde há ainda muita oferta pelos agregados naturais a diferença de valores é pequena, mas já se percebe uma diferença positiva

que incentiva o uso do RCD. A Tabela 6 apresenta um comparativo dos valores dos agregados convencionais e não convencionais.

Tabela 6 - Valores de Venda de agregados na empresa Areia Bela Vista

AGREGADOS	CONVENCIONAL	NÃO CONVENCIONAL-RECICLADO
Areia lavada	R\$40,00	R\$ 35,00
Areia Rosa	R\$ 30,00	R\$ 25,00
Brita nº 0, nº 1 e pó de brita	R\$ 40,00	R\$ 32,00
BGS	R\$ 40,00	R\$ 32,00
Pedra Marroada	R\$ 40,00	R\$ 32,00

(Fonte: Areia Bela Vista)

Em Brasília, a coleta do RCD nas obras, para sua disposição final no Lixão da Estrutural, acarreta em um custo para as empresas, dependendo da sua localidade, obras no lago sul, o preço da caçamba varia de R\$140,00 a R\$150,00 na região da asa sul, este valor varia de R\$120,00 à R\$130,00, enquanto que no entorno da capital brasileira, mais especificadamente em Ceilândia o valor é de R\$120,00, por exemplo.

5. MATERIAIS E METODOLOGIA DE TRABALHO

5.1. Materiais

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados os materiais necessários para a confecção dos concretos, convencional e sustentável. Para o concreto, comumente utilizado em obras atualmente, foi utilizado o Cimento Portland II (CP II 32 MPa), areia rosa e brita nº 01. Já para o concreto com materiais não convencionais foi utilizado o Cimento Portland III (CP III de alto-forno, 40 MPa), agregado graúdo reciclado (RCD, com diâmetro entre 19 mm e 12,5 mm) e areia reciclada.

Como a pesquisa é a tentativa de substituição dos agregados naturais pelos reciclados no concreto, para fins estruturais, buscou-se uma obra que tenha interesse

na possível utilização de tais materiais e que disponibilizasse os componentes do concreto a ser utilizado assim como as características do concreto da obra para que possa haver uma comparação. Para tanto, buscou-se a parceria de um empreendimento da Odebrecht realizações Imobiliárias.

O empreendimento consiste em consultórios e clínicas de alto padrão, com salas entre 26,82 m² a 215,92 m². O edifício Vitrium será em concreto armado, para as fundações será utilizado concreto CA25 (25 MPa) e a estrutura será composta por um concreto mais resistente, CA35 (35 MPa). Toda a obra terá seu concreto usinado pela empresa Engemix, não havendo concreto rodado em obra. Sendo assim, a aquisição do material se deu por meio da empresa Engemix, onde foi adquirido o cimento e o agregado miúdo (areia rosa) para a confecção do concreto convencional.

A obra do Vitrium fica localizada na, SGAS 613/614 - lote 99 - L2 Sul, ao lado da faculdade IESB e a empresa que fornece o concreto, a Engemix, localiza-se no, SOFN, S/N - Quadra1 - Conj A - Lote 16 Zona Industrial, todos em Brasília-DF. As Figuras 5 e 6 mostram a localização da obra e da empresa, respectivamente.

Figura 5 - Localização da Obra do Vitrium.



(Fonte: www.orrealizacoes.com.br acessado em 15/10/2013)

Figura 6- Localização da Empresa Engemix.



(Fonte: www.maps.google.com.br acessado em 15/10/2013)

A Figura 7 apresenta os materiais convencionais cedidos pela Engemix para a confecção do concreto convencional com resistência de 35 MPa.

Figura 7- Materiais utilizados na confecção do concreto convencional.



(Fonte: Arquivo Pessoal)

O RCD, que é o material base de estudo foi cedido pela Empresa Areia Bela Vista, localizada em Sobradinho II, cuja localização está apresentada na Figura 8. A empresa é exploradora de areia natural para fins comerciais e coletora de resíduos de construção e demolição, no qual os beneficia, gerando agregados graúdos e miúdos.

Figura 8- Localização Areia Bela Vista.



(Fonte: Vasconcelos, 2012)

O RCD beneficiado foi coletado das obras do antigo estádio de Brasília Mané Garrincha e de uma das obras da Empresa SVC construções Ltda. localizada na L2 sul. O material, ao chegar no seu destino final se encontra muito heterogêneo com vários tipos de materiais, e em formas e tamanhos distintos. A Empresa Areia Bela

Vista faz a separação deste material, retirando tudo o que não será útil para a reciclagem, mesmo assim restam fragmentos de barras de aço unidas ao concreto (concreto armado) que serão separadas posteriormente.

Depois de ocorrida a separação inicial, o material segue para o britador de mandíbulas, como segue na Figura 9, no qual será beneficiado em pedras com dimensões menores e areia reciclada e seguirá pela esteira até seu devido armazenamento como mostra na Figura 10. Dando sequência ao processo de separação o material segue para uma esteira rolante onde há uma esteira magnetizada sobre a primeira, a qual coleta todo aço restante, chegando ao fim, um material homogêneo.

Figura 9 - Britador de mandíbulas.



(Fonte: Arquivo Pessoal)

Figura 10 - Detalhe esteira e esteira magnetizada.



(Fonte: Arquivo Pessoal)

O material utilizado neste trabalho foi coletado *in loco*, no depósito de materiais reciclados. Um ponto notável para a realização desta pesquisa foi a coleta de somente materiais provenientes do concreto, não havendo restos de cerâmica ou tijolos, por exemplo. Como apresentado na Figura 11.

Figura 11- Material beneficiado e material bruto.



(Fonte: Arquivo Pessoal)

Com a quantidade de material necessária, para que o RCD atingisse a granulometria desejada, este foi submetido a um novo beneficiamento, mas agora em um britador com capacidade menor, onde gerou um material com dimensões

adequadas para a confecção do concreto desejado, ou seja, brita 01. Como mostrado na Figura 12.

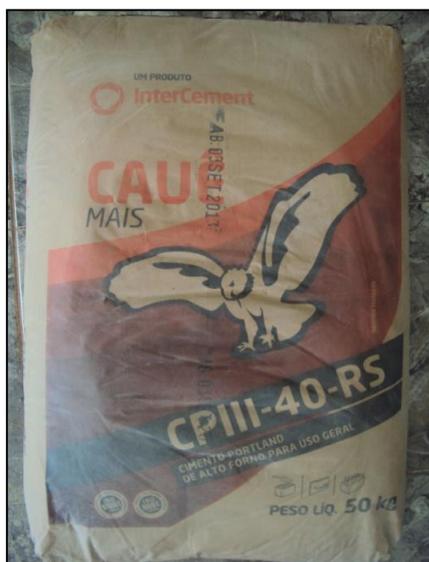
Figura 12- Britador elétrico.



(Fonte: Arquivo Pessoal)

Além dos agregados não convencionais, para a confecção do concreto sustentável proposto nesta pesquisa e sempre almejando o menor impacto ambiental possível, foi determinado o cimento CP III de Alto forno, por ser um cimento com menor taxa de poluição em sua fabricação e que pode ser encontrado em lojas de materiais de construção em um custo similar ao CP II-32. Como apresentado na Figura 13.

Figura 13- Cimento CP III de Alto forno.



(Fonte: Arquivo Pessoal)

5.2. Caracterização dos Materiais

Com todos os materiais já em laboratório, o próximo passo foi a caracterização do RCD. Os ensaios realizados foram todos seguidos, passo a passo, pelas normas que os regem.

O primeiro ensaio realizado foi a determinação da composição granulométrica do material reciclado, tanto o RCD quanto a areia reciclada, tendo em vista a caracterização do material. Este ensaio é descrito pela norma NBR NM 248:2003 (Agregados - Determinação da composição granulométrica). Este, por sua vez, consiste em passar o material em uma malha de peneiras determinada pela NBR NM-ISO 3310-1:1996 ou NBR NM-ISO 3310-2:1996, como mostra a Tabela 7, e o resultado é a porcentagem média retida e a porcentagem média retida acumulada em cada peneira, assim resultando na dimensão máxima característica da amostra.

Tabela 7- Série de peneiras.

Série Normal	Série Intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

(Fonte: NBR NM-ISO 3310-1:1996)

A quantidade de amostra a ser ensaiada é determinada pela NBR NM 27:2001, como na Tabela 8, que indica a massa mínima de acordo com a dimensão dos agregados.

Tabela 8- Massa mínima de material a ser ensaiado.

Dimensão máxima nominal do agregado (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (Kg)
< 4,75	0,3*
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

(*) Após secagem

(Fonte: NBR NM 27:2001)

A Figura 14 apresenta o material em processo de caracterização por peneiramento de acordo com as normas citadas.

Figura 14 - Material no ensaio de peneiramento.



(Fonte: Arquivo pessoal)

O segundo ensaio realizado foi a determinação da absorção de água dos materiais, este fator é muito relevante para a confecção do concreto, pois interfere na quantidade de água a ser utilizada no traço. A norma que estabelece as diretrizes do ensaio é a NBR NM 53:2009 (Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água). Esta norma é específica para os agregados destinados ao uso em concretos.

A quantidade de amostra necessária para o ensaio é indicada na Tabela 9, de acordo com a NBR NM 27:2001.

Tabela 9- Massa mínima de material a ser ensaiado.

Dimensão máxima característica (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (Kg)
12,5	2
19,0	3
25,0	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18

90	25
100	40
112	50
125	75
150	125

(Fonte: NBR NM 27:2001)

O procedimento consiste em pesar a amostra nas condições seca, saturada e imersa em água. O qual é transcrito no período de um dia e que ao final, os resultados são inseridos em fórmulas pré-estabelecidas pela norma que dará as massas específicas e também a porcentagem de água que o material absorve. A Figura 15 apresenta a balança hidrostática com a amostra dentro do cesto no processo de pesagem por imersão.

Figura 15 - Ensaio de Absorção de água.



(Fonte: Arquivo Pessoal)

O terceiro ensaio realizado foi a determinação da quantidade de material pulverulento composto na amostra de RCD. Este ensaio também é de suma importância para este tipo de material, tendo em vista que, por ser resultante de concretos pode haver uma maior quantidade de partículas que interferem na absorção de água do agregado durante e depois a mistura na finalização da confecção do traço.

A norma que especifica este ensaio é a NBR NM 46:2003 (Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm , por lavagem). Este procedimento resulta na porcentagem de material fino que está contido no agregado. A massa mínima de material que deve ser ensaiado é determinada pela NBR NM 27:2001, como apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Massa mínima de material a ser ensaiado.

Dimensão máxima nominal (mm)	Massa mínima (g)
2,36	100
4,75	500
9,5	1000
19,0	2500
37,5 ou superior	5000

(Fonte: NBR NM 27:2001)

O ensaio consiste em lavar a amostra do agregado, como transcrito na norma, usando somente água. A água com o material suspenso deve ser passada na peneira de 75 μm . A perda em massa do material será registrada e será a quantidade de material fino, em porcentagem, contido na amostra. As Figuras 16 e 17 demonstram os procedimentos adotados para o citado ensaio. A Figura 16 apresenta a amostra em processo de lavagem (a) e em processo de peneiramento após imediatamente a lavagem (b), enquanto que a Figura 17 apresenta os materiais nas provetas.

Figura 16 - Ensaio de Determinação de materiais finos.



(Fonte: Arquivo Pessoal)

Figura 17- Comparação visual da limpidez entre a água, antes e depois da lavagem.



(Fonte: Arquivo Pessoal)

5.3. Confeção dos Corpos de Prova de concreto

5.3.1. Traço de concreto

O primeiro propósito na escolha do traço foi o de tentar utilizar algum que já está presente na cultura da região, tentando não modificá-lo ao máximo. Com este intuito conseguiu-se três traços convencionais com a empresa Ecta Engenharia, Arquitetura & Controle Tecnológico, para um concreto com as mesmas características de resistência que será usado na obra da Odebrecht, o qual é base para esta pesquisa.

O primeiro traço é para um concreto mole, com resistência de $F_{ck}=30$ MPa, com traço de **1:61:92:25**, o segundo também é para um concreto mole mas com resistência menor de $F_{ck}=25$ MPa com traço de **1:78:110:30** e o terceiro, um concreto muito mole, com resistência de $F_{ck}=25$ MPa com traço de **1:75:107:30**. Sendo que cada traço se refere a um saco de cimento de 50 kg.

Como a intenção é um concreto para fins estruturais, o traço utilizado foi o concreto mole de $F_{ck}=30$ Mpa, o qual possui resistência compatível com a estrutura do Edifício Vitrium. Para a confecção do concreto foi reduzido a quantidade de materiais, buscando o menor desperdício, esta quantidade foi reduzida em cinco vezes, sendo assim o traço utilizado foi de **1:1,22:1,84:0,5**, valores em litros, utilizando um balde de litro graduado foi pesado todos os materiais, transformando o traço para quantidades em massa (Kg), o traço passou para **1:1,99:2,11:0,5**, facilitando na separação dos componentes do concreto. Estes valores foram calculados em consideração a quantidade, em volume, necessária para a fabricação dos corpos-de-prova que seriam utilizados para o ensaio de compressão do concreto. Cada molde possui raio da base $D=10$ cm e altura $H=20$ cm, ou seja, um volume de $V=1570,80$ cm³ de concreto por molde, chegando a um total de $V=14137,20$ cm³, considerando ainda algum eventual desperdício principalmente no ensaio de abatimento do tronco de cone.

5.3.2. Confecção do concreto

Para a produção dos concretos, foi utilizado um misturador mecânico (betoneira) para garantir a homogeneização do concreto e consequente características. Antes da mistura do concreto, uma pequena quantidade de areia, cimento e água é misturada na betoneira com o intuito de untar a mesma para que no processo de fabricação do concreto a água não seja desperdiçada.

Para a fabricação dos concretos, o agregado graúdo reciclado foi devidamente selecionado para que somente fosse usado um material com a característica granulométrica correspondente a brita n° 01, que também foi usada no preparo do concreto convencional. A escolha deste tipo de agregado foi baseada na cultura da região, em que a brita n° 01 é comumente usada para concretos estruturais.

Com todos os componentes em quantidade, depositam-se os materiais em pequenas porções na betoneira para que esta os misture gradualmente, sempre adicionando água em pequenas quantidades, até que todo o material seja depositado e misturado.

O primeiro concreto a ser produzido foi o sustentável, no qual foi utilizado os agregados reciclados secos e não lavados, tanto a areia quanto a brita nº 01 e o cimento Portland III de alto forno, apresentado na Figura 18. Durante a mistura na betoneira, foi observado que o concreto estava muito seco e não atingiria o abatimento esperado, e para melhorar a trabalhabilidade do concreto foram adicionados 1,56 Kg de água, sendo assim o traço foi modificado, passando para:

1:1,99:2,11:0,656

Figura 18- Materiais para a fabricação do concreto sustentável



(Fonte: Arquivo Pessoal)

Para fins de comparação foi confeccionada uma amostra de concreto convencional, ou seja, o mesmo traço foi utilizado, mas com os materiais convencionais cedidos pela Engemix.

Após a verificação da grande quantidade de material pulverulento presente no agregado graúdo reciclado, o que poderia acarretar em uma absorção maior de água,

reduzindo o abatimento do concreto, decidiu-se produzir mais um concreto com estes materiais lavados, diminuindo significativamente a quantidade de materiais indesejáveis.

Para a fabricação deste último concreto, foi modificado o traço, acrescentando 1% de cimento e 0,5% de água, ou seja, 1 Kg de cimento e 0,325 Kg de água, com o objetivo de aumentar o abatimento sem que prejudicasse a resistência do concreto. O novo traço, em massa, ficou sendo:

1,1:1,99:2,11:0,69

Em todos os concretos confeccionados houve o controle tecnológico com o ensaio de abatimento do tronco de cone, determinado pela norma NBR NM 67:1998 (Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone), como mostra as Figuras 19 e 20.

Figura 19 - Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone para o concreto sustentável com agregados não lavados.



(Fonte: Arquivo Pessoal)

Figura 20- Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone para o concreto convencional.



(Fonte: Arquivo Pessoal)

Assim como o ensaio de abatimento, em todos os concretos realizados foram feitos nove corpos-de-prova. Tal procedimento é descrito pela norma NBR 5738:2003 (Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova). Este ensaio foi realizado com adensamento manual com haste em que o concreto é depositado no molde, devidamente preparado, em duas camadas que recebem doze golpes cada uma com a haste. O número de camadas foi determinado de acordo com a dimensão da base do molde de aço, descrito pela norma. A cura inicial dos moldes de concreto é feita em local protegido de intempéries para não causar nenhuma perturbação, após as primeiras 24 horas o concreto é retirado do molde, devidamente identificado e imerso em água até a data da execução dos ensaios de compressão axial.

5.3.3. Realização dos ensaios com os corpos-de-prova

Primeiramente foram realizados ensaios de compressão axial, para a determinação da resistência dos concretos produzidos. Com os ensaios em andamento decidiu-se verificar o módulo de elasticidade dos mesmos, mas como vários corpos-de-prova já haviam sido rompidos, foi usada a expressão apresentada na norma NBR 6118:2007 (Projeto de estruturas de concreto - Procedimento), a qual pode-se determina-lo, sem ensaios laboratoriais.

O ensaio realizado para a verificação da resistência final do concreto produzido foi de acordo com a norma NBR 5739:2007 (Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos). O ensaio foi realizado utilizando os recursos do laboratório de materiais de construção do UniCeub, onde há a prensa hidráulica devidamente compatível com a descrita na norma, conforme apresentada na figura 21. Salientando que todos os ensaios foram realizados com a placa de neoprene e que de acordo com o trabalho de ALMEIDA (2008) para esta faixa de resistência utilizada este método não interfere nos resultados.

Figura 21 - Máquina para o ensaio de compressão axial.

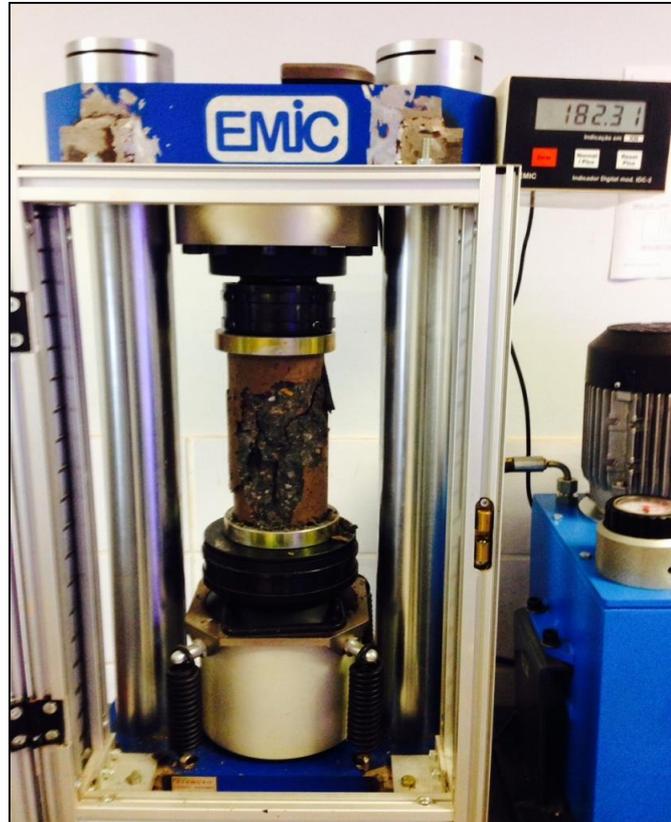


(Fonte: Arquivo Pessoal)

Para fins estatísticos, foram feitos três corpos-de-prova para cada data de ensaio. Estas datas foram fixadas em 7, 14 e 28 dias após a data da produção do concreto.

Em cada data do ensaio os três corpos-de-prova foram retirados do tanque de água, esperando alguns minutos para que secassem. O ensaio foi feito de acordo com as orientações da norma, conseguindo assim o valor da carga máxima de ruptura de cada corpo de prova, em Kilonewtons (KN). A Figura 22 apresenta a execução do ensaio descrito.

Figura 22- Ensaio de compressão de corpos-de-prova, concreto sustentável a 14 dias.



(Fonte: Arquivo Pessoal)

De acordo com a norma NBR 5739:2007, para que se obtenha a resistência à compressão dos corpos-de-prova, deve haver uma relação entre a carga máxima de ruptura com a área da seção transversal do corpo-de-prova ensaiado, resultando assim na resistência em MegaPascal (MPa). A fórmula a ser empregada está apresentada na Equação 1.

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2}$$

Equação 1

onde:

f_c é a resistência à compressão, em MegaPascals;

F é a força máxima alcançada, em Newtons;

D é o diâmetro do corpo-de-prova, em milímetros.

Para o cálculo do módulo de elasticidade, como não foram realizados ensaios práticos, foi utilizado a expressão sugerida pela norma NBR 6118:2007 que relaciona o módulo com a resistência característica do concreto. A equação é descrita a seguir:

$$E_{ci} = 5600 f_{ck}^{1/2} \quad \text{Equação 2}$$

Em que tanto o módulo de elasticidade e a resistência do concreto são expressos em MPa.

6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1. Apresentação dos resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados de todos os ensaios de caracterização do material utilizado para a produção do concreto sustentável, assim como as características de cada tipo de concreto, obtidas pelos ensaios e também de forma empírica.

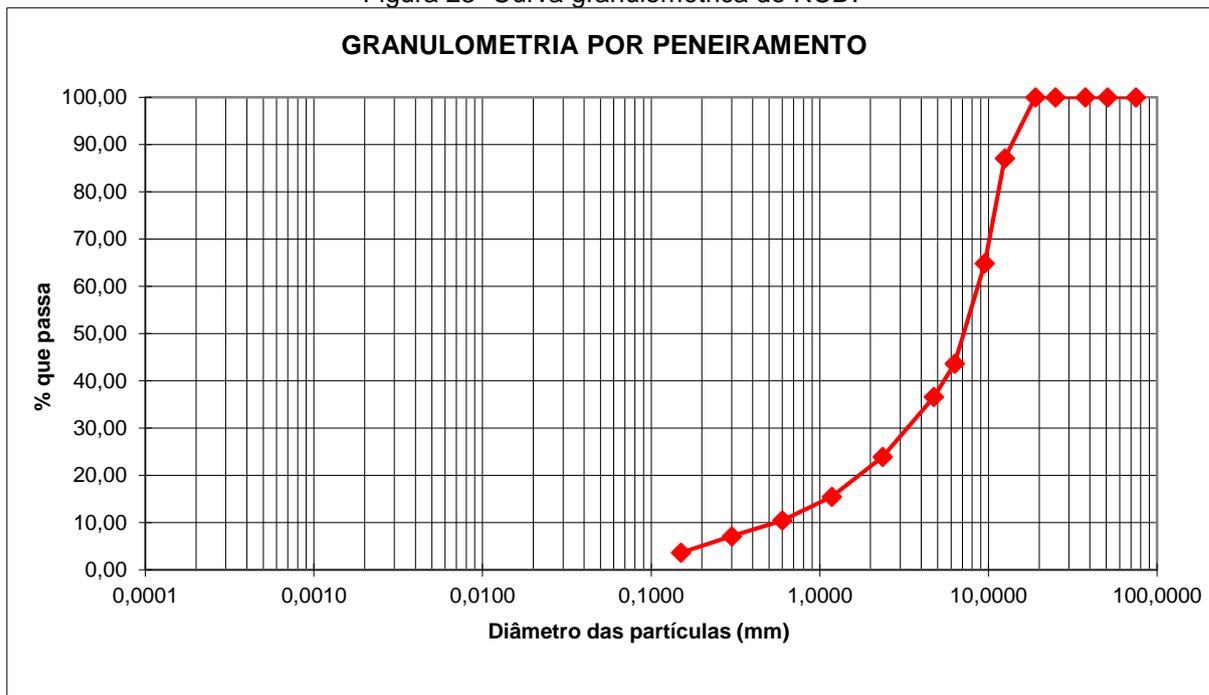
Foram realizados três tipos de concreto, sendo eles, dois sustentáveis, utilizando agregados reciclados (RCD) e um convencional, utilizando agregados naturais. Os três concretos foram confeccionados em laboratório, em quantidade específica para que os ensaios fossem realizados, ou seja, todos foram produzidos seguindo a mesma metodologia.

6.1.1. Análise granulométrica

O ensaio de análise granulométrica foi realizado com o RCD e com a areia reciclada para determinar a dimensão máxima característica e seu correspondente módulo de finura.

Para o RCD, segue abaixo o Figura 23, em que é apresentado a curva granulométrica correspondente ao diâmetro das partículas em relação a porcentagem de material que passa pelas peneiras pré-determinadas por norma. A quantidade de material ensaiado foi seguida pela norma NBR NM 248:2003 na qual é baseada na dimensão máxima característica do material. Para o RCD foi coletada uma amostra de 2000 g.

Figura 23- Curva granulométrica do RCD.



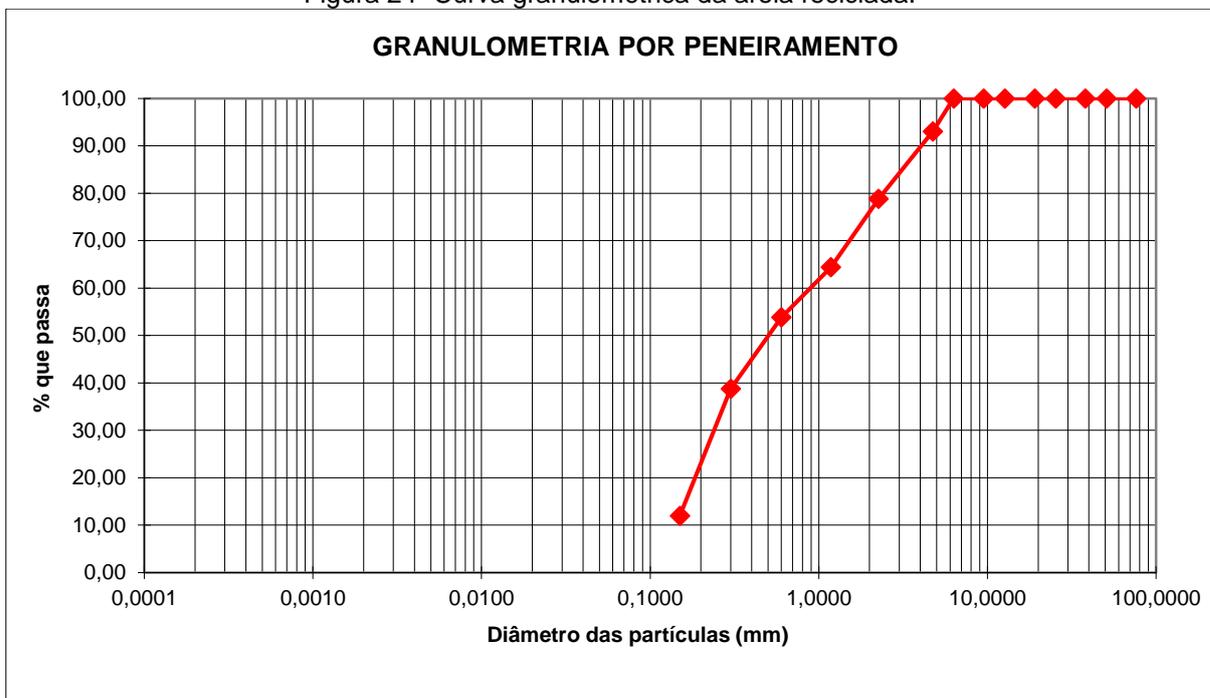
(Fonte: Arquivo Pessoal)

Com o ensaio realizado pode-se determinar a dimensão máxima característica do material que é a grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal da peneira (NBR NM 248:2003). Portanto, a dimensão máxima do RCD ensaiado é de 12,5 mm. Para o módulo de finura, calculado pela soma das porcentagens retidas acumuladas em massa do agregado, nas peneiras da série normal, dividida por cem, foi encontrado um valor de 2,59.

A curva mostra que cerca de 64% da amostra ensaiada é composta por material grosso, ou seja retido pela peneira de 4,75 mm e 36% de material fino. A faixa usada para a seleção do material para a fabricação do concreto foi entre as peneiras de 25 mm e 12,5 mm, característica da brita 01, sendo que esta faixa representa cerca de somente 12,9% do material. Isto não indica um empecilho para a produção de concreto em grande escala, tendo em vista que boa parte dos concretos são compostos dos dois tipos principais de brita, tanto a brita 01 quanto a brita 00.

Este mesmo ensaio foi realizado com a areia reciclada, como mostra o Figura 24, a curva granulométrica do material ensaiado. A quantidade de material da amostra também foi determinado por norma, sendo cerca de 300 g.

Figura 24- Curva granulométrica da areia reciclada.



(Fonte: Arquivo Pessoal.)

A dimensão máxima da areia reciclada ensaiada é de 4,75 mm. Seu módulo de finura é de 2,59.

De acordo com a NBR 7211:2009 (Agregados para concreto - Especificação) há limites para a utilização dos agregados miúdos, dependendo da sua composição granulométrica, estes limites são apresentados a seguir na Tabela 11.

Tabela 11- Limites para a utilização de agregados miúdos em concretos.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona Utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100
NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.				
NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.				
NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.				

(Fonte: NBR 7211:2009).

Analisando a curva granulométrica da areia reciclada ensaiada e comparando-a com a Tabela 11, onde é estabelecido limites para a utilização deste agregado, pode-se observar que este material é propício para a utilização em concretos, sendo classificado na zona utilizável, no limite superior, mas seu módulo de finura não alcançou o mínimo aceitável para esta zona.

6.1.2. Absorção de água

Para os agregados naturais comumente utilizados na fabricação de concretos convencionais, não se leva muito em consideração sua taxa de absorção de água, pois como comprovado por experimentos possuem índices muito baixos. Mesmo para os agregados miúdos, os quais variam entre 1% e 2,5% não são considerados, por serem poucos porosos e esta absorção ser muito lenta. (LEITE, 2001)

Por outro lado, utilizando-se materiais reciclados, que geralmente são mais porosos, um cuidado especial que deve ser considerado refere-se a taxa de absorção de água destes, podendo ser elevadas, causando algumas dificuldades na produção de concretos, diminuindo sua trabalhabilidade, podendo até causar diferenças consideráveis em sua resistência.

No ensaio realizado para o agregado graúdo, foi seguida as especificações presentes na norma NBR NM 53:2009, onde consta o método a ser utilizado e as equações para a determinação da massa específica e absorção de água, os resultados são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12- Resultados do ensaio de absorção de água.

MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO SECO (d) (g/cm³)	2,11
MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO SATURADO (ds) (g/cm³)	2,32
MASSA ESPECÍFICA APARENTE (da) (g/cm³)	2,69
ABSORÇÃO DE ÁGUA (A) (%)	10,36

(Fonte: Arquivo Pessoal)

Observando o resultado acima, pode-se perceber que o valor encontrado foi muito elevado para o material, considerando que a norma NBR 15116:2004 considera que a absorção de água para o agregado graúdo deve ser menor que 7% e pode-se comparar também os resultados obtidos por LEITE (2001), apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados do ensaio de absorção de água.

	Agregados Reciclados			
	Miúdo		Graúdo	
	Seco	Submerso	Seco	Submerso
Absorção (%)	6,0	11,2	3,6	6,3
Absorção média (%)	8,60		4,95	

(Fonte: LEITE, 2001)

Comparando os dois trabalhos, pode-se observar que a absorção de água desta pesquisa foi muito superior a de LEITE (2001), sendo cerca de 52% a mais.

Um fato importante que possa ter afetado o resultado do ensaio é que a norma seguida é baseada para ensaios com agregados naturais, e no trabalho de LEITE (2001), foi elaborado um novo ensaio para este tipo específico de material, alegando que para a norma em vigor o agregado reciclado poderia perder massa durante o processo principalmente pela grande quantidade de material fino que possui. E ainda, ressalta-se que nesta monografia o agregado graúdo foi proveniente de estruturas demolidas (vigas, pilares e lajes) podendo ser um material diferente daquele estudado por LEITE (2001). Salienta-se a importância na padronização não só dos ensaios, mas também dos materiais.

6.1.3. Determinação do material fino

Os agregados reciclados, por sua própria natureza, possuem uma quantidade elevada de material fino em sua composição, este material pode ser proveniente do próprio beneficiamento ou dos componentes do RCD, principalmente o cimento.

Esta quantidade significativa pode afetar a relação água/cimento, podendo estes absorver mais água que o esperado, por isso foi ensaiado o material que posteriormente seria utilizado na produção do concreto sustentável.

Com o ensaio realizado de acordo com a norma NBR NM 46:2003 seguindo todos os passos e utilizando a equação imposta para a determinação da quantidade de material pulverulento presente na amostra, o resultado obtido para o RCD com características granulométricas da brita nº01 foi de 2,4% de material fino que passa pela peneira #200.

Mesmo estando dentro dos limites da norma NBR 15116:2004, que para o agregado graúdo considera um teor de material pulverulento abaixo de 10%, esta quantidade foi considerada relativamente alta quando comparada aos agregados naturais, por isso, para a fabricação de um dos concretos, foi feito o processo de

lavagem dos agregados graúdos. Porém, percebeu-se que os resultados de resistência a compressão dos concretos sustentáveis, lavado e não lavado, apresentaram uma diferença em torno de 8,3%, conforme próximo item. Os finos presentes no RCD utilizado, como o agregado graúdo, é composto em maior parte por cimento, diferente dos finos que envolvem os agregados dos recursos naturais que são as argilas e os siltes. Sabe-se que o comportamento dos solos finos são bastante modificados na presença de água, por isso a real necessidade de lavar os agregados no concreto convencional.

6.1.4. Resistência à compressão axial

A resistência à compressão em estruturas é uma das partes mais importantes a ser avaliada, sabendo que a resistência está ligada à capacidade dos materiais sofrerem cargas sem que haja ruptura.

Para esta pesquisa foram elaborados três tipos diferentes de concretos, em relação aos materiais utilizados e ao traço. O concreto Tipo 01 foi elaborado com o RCD, tanto a brita quanto a areia, sem a lavagem dos mesmos e cimento CP III com o traço pré-determinado, no concreto Tipo 02, que foi o convencional, seguiu-se os mesmos passos do Tipo 01 para fins de comparação, mas com agregados naturais e cimento CP II, já no concreto Tipo 03, o qual utilizou-se também agregados reciclados e cimento CP III houve uma mudança no traço, tanto na quantidade de cimento quanto na de água e foi realizado o processo de pré-lavagem dos agregados graúdos, com a intenção de se melhorar o valor do abatimento. Todos os concretos foram confeccionados com o mesmo diâmetro do agregado graúdo, o qual correspondeu ao da brita n° 01.

Para o cálculo do valor da resistência à compressão característica (F_{ck}) foi utilizada a equação fornecida para pela norma NBR 12655:2006, como está apresentado abaixo na Equação 3.

$$f_{ck} = f_{cj} - (1,65 Sd) \quad \text{Equação 3}$$

Onde: Sd = Desvio padrão da dosagem (MPa);

f_{ck} = Resistência característica do concreto à compressão (MPa);

f_{cj} = Resistência do concreto à compressão a j dias de idade (MPa).

Neste trabalho o desvio padrão da dosagem utilizado foi igual a 4 MPa, considerando que a condição de preparo de todos os concretos se enquadrou na condição A (o cimento e os agregados estão medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados).

6.1.4.1. Concreto Tipo 01 (RCD não lavado + CP III)

O concreto Tipo 01 foi elaborado com um traço que é usualmente usado em construções no Distrito Federal, somente sendo adequadas as quantidades de materiais para a fabricação do concreto em uma quantidade exata para a moldagem dos corpos-de-prova. Como foi dito anteriormente, os agregados não foram lavados, sendo usados da maneira que foi coletado, foi realizado somente o peneiramento para a utilização da brita especificada. O traço do concreto Tipo 01 em massa (kg) é apresentado a seguir:

1:1,99:2,11:0,658

A Tabela 14 apresenta as características deste concreto.

Tabela 14- Características do concreto Tipo 01.

CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO TIPO 01	
RELAÇÃO A/C	0,657
TEOR DE ARGAMASSA (α)	58%

RELAÇÃO ÁGUA/MATERIAIS SECOS (H)	13%
CONSUMO DE CIMENTO (C)	260,4 Kg/m ³
ABATIMENTO	1,5 cm

(Fonte: Arquivo Pessoal)

Todos os resultados acima estão de acordo com os requisitos estabelecidos pelo procedimento de dosagem experimental, método IBRACON (Instituto Brasileiro do Concreto), (HELENE e TUTIKIAN, 2011). Somente a relação entre água/materiais secos, que de acordo com este método, este fator deve variar entre 5% a 12%, ficando excedido em 1%, para o citado concreto Tipo 01.

Na Tabela 15 são apresentados os resultados do ensaio de compressão axial para o concreto Tipo 01.

Tabela 15 - Resultados dos ensaios de compressão axial para o concreto Tipo 01.

CONCRETO SUSTENTÁVEL NÃO LAVADO (17/09/2013)							
DIAS	DATA	ÁREA (cm ²)	CARAGA DE RUPTURA (KN)	F _c (MPa)	MÉDIA (MPa)	F _{ck} (MPa)	E _{ci} (GPa)
7 DIAS	24/09/2013	78,54	141,0	18,3	19,1	12,5	24,5
		78,54	153,5	19,9			
		78,54	146,5	19,0			
14 DIAS	01/10/2013	78,54	180,0	23,4	24,1	17,5	27,5
		78,54	192,1	24,9			
		78,54	184,0	23,9			
28 DIAS	15/10/2013	70,14	216,1	31,4	30,8	24,2	31,1
		70,14	209,9	30,5			
		69,40	207,3	30,5			

(Fonte: Arquivo Pessoal)

Observando a Tabela acima pode-se deduzir que o concreto ensaiado conseguiu alcançar a resistência esperada de 30 MPa em seus 28 dias, mas a sua resistência característica (F_{ck}) foi de 24,2 MPa sendo 19,3% abaixo do esperado, devendo ser considerado, para o cálculo em um projeto, como um concreto de 25 MPa. O módulo de elasticidade calculado pela fórmula da norma NBR 6118:2007 teve resultados satisfatórios, estando condizente com os resultados de concretos convencionais.

Neste trabalho buscou-se aliar a teoria com a prática, para tanto fez-se a parceria com a Empresa Odebrecht - Vitrium conforme apresentado na metodologia, para a fundação do citado edifício a resistência do concreto é de 25 MPa, mediante os resultados deste trabalho percebeu-se que o concreto sustentável encontrado pode ser utilizado em substituição ao convencional, valendo ressaltar que foram consideradas somente a resistência à compressão axial e o módulo de elasticidade de forma empírica.

6.1.4.2. Concreto Tipo 02 (Agregados naturais + CP II-32)

Para a fabricação do concreto Tipo 02, como modo de comparação ao Tipo 01, foi utilizado o mesmo traço e os mesmos procedimentos para a sua elaboração. A seguir, na Tabela 16 são apresentadas as características do concreto Tipo 02.

Tabela 16 - Características do concreto Tipo 02.

CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO TIPO 02	
RELAÇÃO A/C	0,657
TEOR DE ARGAMASSA (α)	58%
RELAÇÃO ÁGUA/MATERIAIS SECOS (H)	13%
CONSUMO DE CIMENTO (C)	260,4 Kg/m ³
ABATIMENTO	7,0 cm

(Fonte: Arquivo Pessoal)

Como pode-se observar, considerando que o traço não foi modificado, o concreto obteve as mesmas características que o Tipo 01, exceto pelo abatimento que o convencional adquiriu mais trabalhabilidade, mas também ultrapassou o limite do fator água/materiais secos em 1%, de acordo com o método do IBRACON.

Na Tabela 17 está apresentado os resultados do ensaio de compressão axial para o concreto Tipo 02.

Tabela 17- Resultados do ensaio de compressão axial para o concreto Tipo 02.

CONCRETO CONVENCIONAL (02/10/2013)							
DIAS	DATA	ÁREA (cm ²)	CARGA DE RUPTURA (KN)	F _c (Mpa)	MÉDIA (Mpa)	F _{ck} (Mpa)	E _{ci} (Gpa)
7 DIAS	09/10/2013	78,54	181,7	23,6	23,8	17,2	27,3
		78,54	174,5	22,7			
		78,54	193,5	25,1			
14 DIAS	16/10/2013	67,93	192,7	28,9	29,3	22,7	30,3
		68,66	197,3	29,3			
		68,66	200,5	29,8			
28 DIAS	30/10/2013	69,40	202,5	29,7	31,4	24,8	31,4
		69,40	219,6	32,3			
		68,66	216,4	32,1			

(Fonte: Arquivo Pessoal)

A resistência do concreto convencional, aos seus 28 dias, alcançou sua meta de 30 MPa, mas como o concreto sustentável, este não alcançou seu valor de F_{ck} esperado que era de 30 MPa, ficando 17,4% abaixo. Este concreto também alcançou valores expressivos de Módulo de Elasticidade (E_{ci}) como em outros concreto convencionais rodados em centrais de concreto.

6.1.4.3. Concreto Tipo 03 (RCD lavado + CP III)

O concreto Tipo 03 foi produzido também com 100% de agregados reciclados, mas para evitar o baixo valor do abatimento, acrescentou-se 0,5% de água e 1% de cimento no traço utilizado para a fabricação dos demais concretos, a porcentagem de cimento foi acrescida visando o não aumento do fator A/C, para que não prejudicasse na resistência do concreto.

Com o acréscimo de 1 Kg de cimento e 32,85 g de água, o traço inicialmente utilizado foi modificado, ficando como apresentado a seguir:

1,1:1,99:2,11:0,690

Na Tabela 18 estão apresentadas as características do concreto Tipo 03.

Tabela 18- Características do concreto Tipo 03.

CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO TIPO 03	
RELAÇÃO A/C	0,63
TEOR DE ARGAMASSA (α)	58,6%
RELAÇÃO ÁGUA/MATERIAIS SECOS (H)	12,29%
CONSUMO DE CIMENTO (C)	261,90 Kg/m ³
ABATIMENTO	9,5 cm

(Fonte: Arquivo Pessoal)

Como pode-se observar na Tabela 18, para o concreto Tipo 03, não houve muita variação nas características do concreto em relação ao Tipo 01, somente para o abatimento que era o objetivo principal, que passou de 1,5 para 9,5 cm, que é considerado muito bom para concretos estruturais em vigas e pilares, por exemplo, outro fator que melhorou foi a relação água/materiais secos que reduziu para 12,3% chegando mais próximo do limite estipulado pelo método do IBRACON.

Os resultados do ensaio de compressão axial para o concreto Tipo 03 estão apresentados na Tabela 19 a seguir.

Tabela 19- Resultados do ensaio de compressão axial para o concreto Tipo 03.

CONCRETO SUSTENTÁVEL LAVADO (11/10/2013)							
DIAS	DATA	ÁREA (cm ²)	CARGA DE RUPTURA (KN)	Fc (Mpa)	MÉDIA (Mpa)	Fck (Mpa)	Eci (Gpa)
7 DIAS	18/10/2013	67,93	125,2	18,8	19,3	12,7	24,6
		69,40	134,6	19,9			
		67,93	129,2	19,4			
14 DIAS	25/10/2013	68,66	167,2	24,8	25,0	18,4	28,0
		67,93	170,7	25,6			
		67,20	162,0	24,6			
28 DIAS	08/11/2013	69,40	195,0	28,6	28,8	22,2	30,0
		69,40	193,2	28,4			
		69,40	199,4	29,3			

(Fonte: Arquivo Pessoal)

As mudanças feitas no traço foram essenciais para a melhora do abatimento do concreto mas não foram muito significativas para o ensaio de compressão axial, tendo em vista que a sua resistência aos 28 dias não alcançou os 30 MPa esperados, ficando 4,1% abaixo do valor estipulado, e sua resistência característica ficou 26,1%

abaixo da resistência estimada para este traço. Mesmo com os resultados de resistência não serem muito satisfatórios, o cálculo do módulo de elasticidade ficou dentro dos padrões dos concretos convencionais. Logo, baseado nestes resultados, indica-se este concreto (dentro dos padrões desta pesquisa) para obras que necessitam de um F_{ck} de 25 MPa.

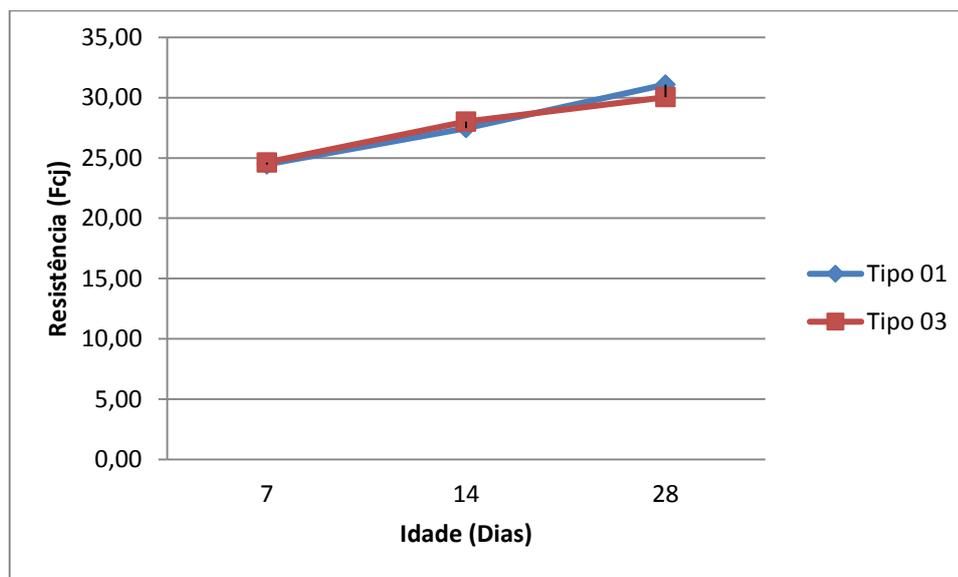
6.2. Análise dos Resultados

Neste item serão analisados os resultados obtidos de cada concreto produzido em relação a sua resistência à compressão axial e ao módulo de elasticidade e também comparados entre si e entre outros estudos para concretos convencionais.

6.2.1. Resistência a compressão axial

Os resultados dos concretos sustentáveis Tipo 01 (RCD não lavado + CP III) e Tipo 03 (RCD lavado + CP III) estão apresentados no na Figura 25.

Figura 25 - Resistência à compressão (f_c) aos 7, 14 e 28 dias dos concretos Tipo 01 e Tipo 03.



(Fonte: Arquivo Pessoal)

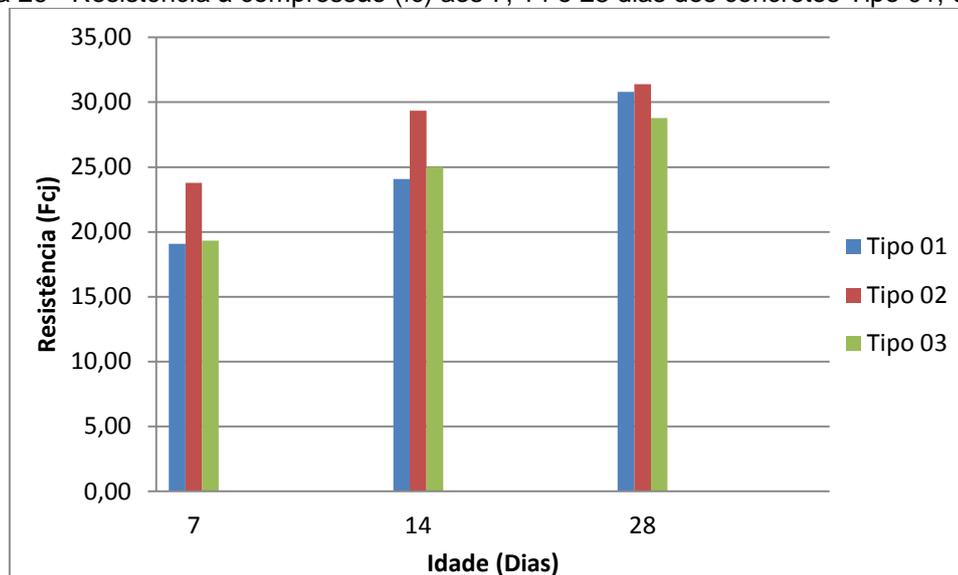
A Figura 25 apresenta a evolução das resistências dos concretos sustentáveis Tipo 01 e Tipo 03, em relação à idade. Aos 7 dias a resistência dos dois concretos foi muito próxima, ficando o concreto Tipo 03, 1,2% a mais que o Tipo 01, após o período de sete dias, houve uma evolução da resistência muito parecida entre os dois concretos e o Tipo 03 ainda adquiriu uma resistência maior, mas ao final dos ensaios, aos 28 dias, o concreto Tipo 01 ultrapassou o Tipo 03, atingindo sua resistência esperada de 30 MPa e em contrapartida o Tipo 03 não evoluiu como o previsto, ficando 4,1% abaixo do Fck pretendido de também 30 MPa.

Este resultado pode ser explicado pela lavagem dos agregados antes da confecção do concreto Tipo 03, tendo em vista que a maior parte dos materiais finos presentes no RCD é cimento e este pode contribuir positivamente para a resistência do concreto.

Como o Fck não foi atingido, o traço pode ser modificado, para um Fck de 25 MPa, assim estes concretos sustentáveis poderão ser utilizados, tendo capacidade de suportar cargas consideráveis, mas deve-se atentar para a sua trabalhabilidade, durabilidade e módulo de elasticidade do concreto confeccionado.

A Figura 26 apresenta as resistências dos três tipos de concretos confeccionados para este estudo.

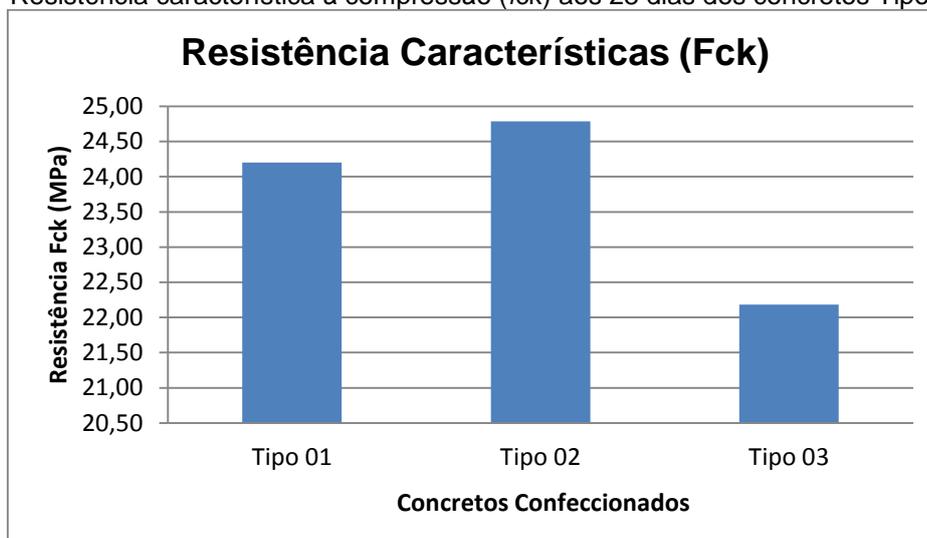
Figura 26 - Resistência à compressão (f_c) aos 7, 14 e 28 dias dos concretos Tipo 01, 02 e 03.



(Fonte: Arquivo Pessoal)

Como pode-se observar na Figura 26, não houve uma discrepância muito grande entre as resistências dos três tipos de concretos. O concreto Tipo 02 (Agregados naturais + CP II 32) adquiriu uma maior resistência que os outros dois concretos sustentáveis nos dois primeiros dias de ensaio, tanto aos 7 dias quanto aos 14 dias, esta diferença foi de 19,8% para o concreto Tipo 01 e 18,7% para o Tipo 03, no 7º dia e de 17,9% e 14,7% para o concreto Tipo 01 e Tipo 03 respectivamente, aos 14 dias, mas com o avanço da idade dos corpos-de-prova, as resistências dos concretos sustentáveis avançaram mais que a do convencional, chegando aos 28 dias muito próximas, o concreto Tipo 01 alcançando 30,8 MPa, o Tipo 02 alcançando 31,4 MPa e o Tipo 03 com 28,8 MPa.

Na Figura 27 é apresentado a resistência característica dos concretos fabricados.

Figura 27 - Resistência característica à compressão (f_{ck}) aos 28 dias dos concretos Tipo 01, 02 e 03.

(Fonte: Arquivo Pessoal)

Como apresentado na Figura 27, os concretos Tipo 01, Tipo 02 e Tipo 03 não atingiram a resistência característica $F_{ck} = 30$ MPa, ficando 19,3%, 17,4% e 26,1% abaixo, respectivamente. Estes valores ultrapassam os 5% a mais ou a menos aceitáveis, devendo ser reconsiderado o valor do F_{ck} de projeto.

Os resultados indicam que pode ser possível utilizar concretos totalmente sustentáveis, podendo chegar a uma resistência compatível com a de projetos estruturais, sendo que para a obra em análise, Vitrium, este concreto não seria indicado para a superestrutura que exige um F_{ck} de 35 MPa, podendo ser utilizado em locais onde não há muita solicitação de esforços, dentro dos modelos estudados nesta pesquisa e sempre tendo o cuidado de acrescentar estudos referentes a durabilidade e ao módulo de elasticidade do concreto.

6.2.2. Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade longitudinal, ou módulo de Young, de um material define o grau de deformação longitudinal deste material sob uma tensão axial imposta. (LEAL, 2012)

Os módulos de elasticidade dos concretos ensaiados, foram calculados de maneira empírica, sendo utilizada a norma NBR 6118:2007, como mencionado anteriormente. Os valores apresentados pela equação para a idade de 28 dias são muito próximos para todos os concretos, sendo que somente o concreto Tipo 03 (RCD lavado + CP III) ficou abaixo dos 31 GPa, devido a sua menor resistência a compressão. Os resultados estão apresentados a seguir na Tabela 20.

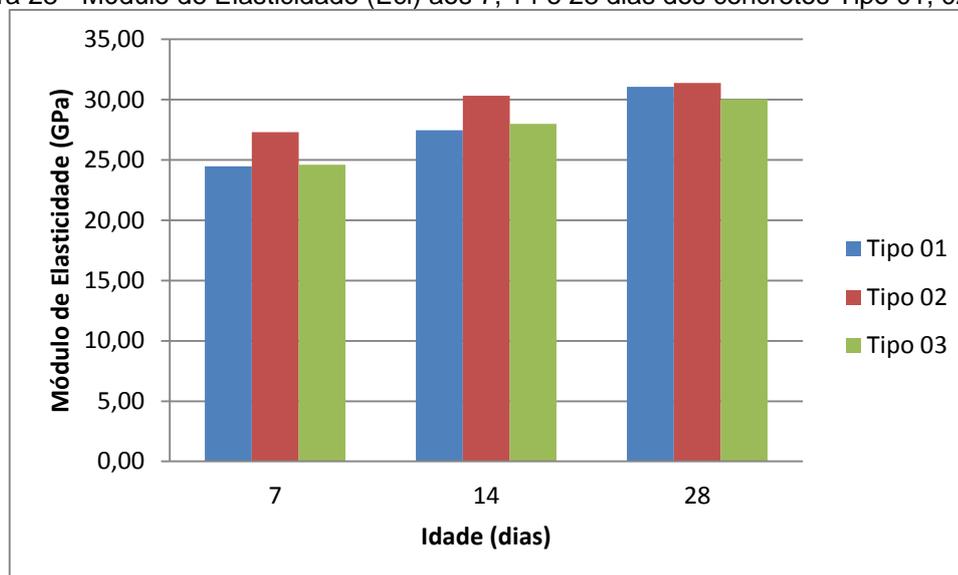
Tabela 20 - Módulo de Elasticidade (E_{ci}) dos concretos confeccionados.

IDADE (dias)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)		
	Tipo 01	Tipo 02	Tipo 03
7	24,8	27,3	24,6
14	27,8	30,3	28,0
28	31,1	31,4	30,0

(Fonte: Arquivo Pessoal)

A Figura 28 apresenta os resultados dos módulos de elasticidade dos concretos em estudo.

Figura 28 - Módulo de Elasticidade (Eci) aos 7, 14 e 28 dias dos concretos Tipo 01, 02 e 03.



(Fonte: Arquivo Pessoal)

Com a Figura 28 pode-se observar claramente os módulos de elasticidade e que estes estão diretamente relacionados com a resistência axial do concreto. Os módulos de elasticidade para os concretos sustentáveis foram muito semelhantes, havendo uma variação de 0,6% aos 7 dias, 1,9% aos 14 dias, sempre o concreto Tipo 03 superando o Tipo 01, mas aos 28 dias esta diferença passou para 3,3%, sendo que o concreto Tipo 01 ultrapassou o Tipo 03. Como na resistência a compressão, o concreto convencional obteve maiores valores de módulo de elasticidade para todas as idades, mas ficando bem próximos aos 28 dias, variando de 0,9% a 4,2% para os concretos sustentáveis Tipo 01 e Tipo 03 respectivamente.

LEAL (2012), realizou uma pesquisa que investigou, de forma experimental, o módulo de elasticidade dos concretos produzidos em Brasília. A pesquisa de LEAL (2012) consistiu em analisar os concretos de três concreteiras (A, B e C) e um modelo experimental, nas seguintes características: resistência a compressão axial, módulo de elasticidade, resistência a tração e absorção de água. Para este trabalho serão

comparados somente os módulos de elasticidade para os concretos C30 ($F_{ck} = 30$ MPa) como apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Valores médios do módulo de elasticidade, módulo de elasticidade de acordo com a expressão de previsão da NBR 6118:2007, da resistência à compressão e da resistência característica das amostras das concreteiras CA, CB e CC aos 28 dias

Concreteira	E_{ci} (Gpa)	E_{ci} (NBR 6118:2007) (Gpa)	f_c (Mpa)	f_{ck} (Mpa)
CA30	33,7	31,4	38	31,4
CB30	41,9	33,1	41,5	34,9
CC30	41,6	29,1	33,6	27

(Fonte: LEAL, 2012)

Realizando uma análise dos módulos de elasticidade dos concretos do trabalho de LEAL (2012) com os concretos confeccionados por esta pesquisa, pode-se inferir que os módulos calculados de acordo com a expressão da norma NBR 6118:2007 para os concretos sustentáveis e o concreto convencional estão de acordo com os calculados por LEAL (2012), havendo uma variação de 7,2% a 9,2% entre os concretos. De acordo com a Tabela 21 pode-se deduzir também que o ensaio prático para o módulo de elasticidade resulta em um valor superior ao ensaio empírico, podendo ser esperado este mesmo resultado para os concretos Tipo 01, Tipo 02 e Tipo 03.

Utilizando a mesma tabela pode-se observar que o concreto para um F_{ck} de 30 MPa deve adquirir resistência superior à resistência imposta em projeto, com uma diferença considerável para que no cálculo do F_{ck} , onde será reduzida esta resistência pelo coeficiente de segurança, este valor não fique abaixo do esperado. Isto não aconteceu com os concretos fabricados para esta pesquisa, ficando todos eles com F_{ck} abaixo do proposto em projeto, como demonstrado no item anterior.

6.2.3. Valor do m³ de concreto

Para que o concreto proposto por este trabalho seja realmente um concreto sustentável, este deve obedecer ao tripé da sustentabilidade que leva em consideração a economia, a sociedade e a preservação do meio ambiente. Em relação a estes dois últimos o processo de reciclagem dos resíduos engloba o conceito, reutilizando um material que seria descartado na natureza e consequentemente gerando mais emprego considerando que este método é novo e poucas empresas o fazem com a técnica adequada.

O quesito economia deve ser muito bem estudado para se obter um valor justo para a venda deste concreto, que para ganhar espaço no mercado de hoje deve chegar mais barato que o concreto convencional e ainda atender aos parâmetros técnicos.

O valor do m³ de água foi fornecido pelo site da Caesb (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal), sendo considerado o valor abaixo citado, para edifícios comerciais e públicos com um consumo acima de 10m³ de água.

A Tabela 22 apresenta os valores dos materiais utilizados para a confecção dos concretos sustentável e convencional, para o Distrito Federal, especificadamente Brasília.

Tabela 22 - Preços dos componentes do concreto sustentável e convencional.

CONCRETO SUSTENTÁVEL		CONCRETO CONVENCIONAL	
ITEM	PREÇO (R\$)	ITEM	PREÇO (R\$)
CIMENTO CP-III (SACO)	R\$ 20,00	CIMENTO CP-II 32 (SACO)	R\$ 19,50
AREIA LAVADA (m ³)	R\$ 35,00	AREIA LAVADA (m ³)	R\$ 40,00
RCD BRITA n° 01 (m ³)	R\$ 32,00	BRITA n° 01 (m ³)	R\$ 40,00

ÁGUA (m ³)	R\$	8,67	ÁGUA (m ³)	R\$	8,67
------------------------	-----	------	------------------------	-----	------

(Fonte: Arquivo Pessoal)

Os dois tipos de concretos que compõem a Tabela 22 possuem o mesmo traço e com isto pode-se deduzir que a fabricação do concreto sustentável vale mais a pena não só pelos motivos mencionados relacionados a sustentabilidade, mas também pela economia que agrega. Sendo um valor significativo em obras de grande porte.

7. CONCLUSÃO

Como o objetivo do trabalho foi a substituição dos agregados convencionais pelos agregados reciclados para a confecção de um concreto sustentável que pudesse substituir o concreto convencional utilizado na obra do Vitrium da Empresa Odebrecht, foram feitos os ensaios de caracterização do RCD, tanto com o RCD britado quanto com a areia reciclada assim como os ensaios para a análise das características deste novo concreto, com um traço padrão.

A partir dos resultados obtidos pelo programa experimental apresentado nesta pesquisa conclui-se:

1) Na análise granulométrica, o agregado graúdo apresentou cerca de 64% de material grosso, o que possibilita a produção em massa deste material para a confecção de concretos que utilizam brita 0 e brita 1. Já os agregados miúdos alcançaram a zona utilizável para a fabricação de concretos, mas não atingindo o módulo de finura para esta zona;

2) Para a absorção de água, somente o agregado graúdo foi ensaiado e o resultado foi muito superior aos resultados dos ensaios feito por LEITE (2001) chegando a 10,4%. Este resultado pode ser explicado por LEITE (2001) que constatou que a norma regulamentadora deste ensaio não foi feita baseando-se neste tipo de material e sim em agregados naturais, os quais são totalmente diferentes dos agregados reciclados, com isto criou-se um novo método para a determinação da taxa de absorção de água e assim provavelmente possa diminuir o resultado para este agregado;

3) A determinação de material fino que passa pela peneira #200 foi ensaiada após a constatação do baixo valor do abatimento do concreto com os materiais não

lavados e acreditando que sua resistência melhoraria com o descarte deste material fino. Para este ensaio, constatou-se que há uma quantidade considerável de material fino no agregado graúdo, cerca de 2,4% do total da amostra. Mas após a confecção do concreto com os agregados lavados, mesmo com a melhora do abatimento, a resistência não melhorou o que levou a crer que grande parte deste material fino é constituída de cimento, ajudando positivamente na resistência do concreto;

4) Para o ensaio de compressão axial, foram fabricados três tipos de concretos e para cada um foi produzido nove corpos-de-prova, sendo três para cada idade do concreto a ser rompido, 7, 14 e 28 dias. Todos os concretos não atingiram o seu F_{ck} estimado aos 28 dias de 30 MPa, ficando 19,3% abaixo, o concreto sustentável não lavado, 17,4% o concreto convencional e 26,1% o concreto sustentável lavado. Mesmo com este resultado os concretos sustentáveis obtiveram resultados satisfatórios, atingindo resistências de 30,8 MPa para o não lavado e 28,8 MPa para o lavado, sendo muito próximos ao concreto convencional que atingiu resistência de 31,4 MPa. Com estes resultados deve-se reconsiderar o F_{ck} proposto em projeto para 25 MPa;

5) O módulo de elasticidade para os concretos desta pesquisa foi calculado de forma empírica pela norma NBR 6118:2007, em que relaciona o módulo de elasticidade com a resistência a compressão axial do concreto, os resultados foram positivos, obtendo um E_{ci} de 31,1 GPa para o concreto sustentável não lavado, 31,4 GPa para o convencional e 30,4 GPa para o sustentável lavado, havendo uma variação de 3,1% entre os concretos. A pesquisa feita por LEAL (2012) em que foram verificados principalmente o módulo de elasticidade dos concretos fabricados por três concreteiras, constatou que um concreto C30 possui módulo de elasticidade variando de 33,7 GPa à 41,9 GPa, sendo que estes valores foram obtidos pelo ensaio prático, comprovando que os concretos sustentáveis possuem um módulo de elasticidade compatível com os concretos já fabricados em Brasília;

6) Como o foco da sustentabilidade é buscar o equilíbrio entre a sociedade, a economia e a preservação do meio ambiente foi necessário a comprovação, que por

meio da fabricação do concreto com materiais reciclados ocorre esta integração. Utilizando o RCD é evidente a reciclagem de materiais que seriam descartados em lixões e aterros sanitários reduzindo a capacidade destas áreas de recebimento de resíduos, a criação de novos empregos em empresas que possam atuar neste ramo, ou até mesmo em empresas de engenharia civil que podem e devem passar a selecionar estes materiais recicláveis nos próprios canteiros de obras e a economia de preço destes materiais que para a compra são mais baratos que os materiais utilizados no concreto convencional. E ainda, a diferença de preço dos materiais para um concreto sustentável é em torno de 11,5% menor que para o concreto convencional;

Em geral, é possível afirmar que o uso de agregados reciclados para a fabricação de concretos é totalmente viável em relação às propriedades mecânicas estudadas nesta pesquisa. No entanto, deve-se atentar para o abatimento do concreto que, de acordo com um dos traços estudados não foi satisfatório, havendo a necessidade de modificá-lo;

Por fim, é importante que mais estudos sejam realizados nesta área tendo em vista a utilização destes concretos para fins estruturais, atentando para diferentes propriedades do concreto e que normas sejam elaboradas para que haja uma padronização, principalmente dos materiais utilizados para o concreto sustentável proposto nesta pesquisa.

7.1. Sugestões para pesquisas futuras

A seguir são sugeridas algumas pesquisas que podem complementar esta pesquisa:

- Estudo de novos traços de concreto sustentável para diferentes resistências;

- Produzir novos concretos com misturas de aditivos, com a tentativa de ganhar mais resistência;
- Produzir novos concretos com misturas de agregados reciclados e agregados naturais, misturados com cal;
- Verificação do comportamento do concreto sustentável em contato com o aço e sua resistência a cargas naturalmente presentes em estruturas;
- Elaboração de traços ricos e pobres para o concreto com RCD;
- Elaboração de novos concretos aditivados com o gesso reciclado em obra;
- Verificação da durabilidade deste concreto;
- Verificar a absorção de água do RCD utilizado;
- Comparar os módulos de elasticidade com ensaios laboratoriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118**. Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7211**. Agregados para Concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 15116** – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10004**. Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR NM 248**. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM-ISO 3310-1**. Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR NM-ISO 3310-2**. Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 2: Peneiras de ensaio de chapa metálica perfurada (ISO 3310-2:1999, IDT). Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR NM 27**. Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 53**. Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 46**. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 67**. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 5738**. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739**. Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 12655**. Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

ABCP, A. B. D. C. P. Sobre a Associação Brasileira de Cimento Portland. **Site da Associação Brasileira de Cimento Portland**, Dezembro 2002. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/>>. Acesso em: 5 set. 2013.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. São Paulo: Blucher, 2011.

BUCKMAN; BRADY. intemperismo físico. In: ABGE, A. B. D. G. D. E. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: FAOESP, 2001. Cap. 6.

CARVALHO, J. Sobre as origens e desenvolvimento do concreto. **Revista Tecnológica**, Maringá, v. 17, p. 19-28, 2008.

DEERE; PATTON. Classificação e Caracterização dos Solos. In: ABGE, A. B. D. G. D. E. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: FAPESP, 2001. Cap. 11, p. 200.

FRASCÁ, M.; SARTORI, P. Minerais e Rochas. In: ABGE, A. B. D. G. D. E. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: FAPESP, 2001. Cap. 2.

GBC BRASIL. **Site da Green Building Council Brasil**, 2013. Disponível em: <<http://www.gbcbrazil.org.br/?p=empreendimentos-lead>>. Acesso em: 19 Novembro 2013.

HELENE, P.; TUTIKIAN, B. Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In: IBRACON **Concreto: Ciência e Tecnologia**. [S.l.]: [s.n.], 2011. Cap. 12.

HERNANDES, T.Z. (2006). **LEED - NC como sistema de avaliação da sustentabilidade: uma perspectiva nacional?**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Tecnologia da Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 134p.

IAEG, I. A. F. E. G. F. T. E. Minerais e Rochas. In: ABGE, A. B. D. G. D. E. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: FAPESP, 2001. Cap. 2, p. 18.

LA SERNA, H.; REZENDE, M. Sobre a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados da Construção Civil. **Site da ANEPAC**, 2009. Disponível em: <<http://anepac.org.br/>>. Acesso em: 6 set. 2013.

LEAL, A.C.F.S. (2012). **Investigação experimental do módulo de elasticidade nos concretos produzidos em Brasília**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-010A/12, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 151p.

LEITE, M.B. (2001). **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 270p.

LIMA, J. A. R. (1999). **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 246p.

LOUZAS, R. Sobre Habitação. **Site da Revista PINI**, 2013. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/habitacao/deficit-habitacional-brasileiro-tem-queda-em-2011-diz-sinduscon-sp-e-292413-1.aspx>>. Acesso em: 18 set. 2013.

LUGAR CERTO, C. W. **Site Lugar Certo**, 2013. Disponível em: <http://www.lugarcerto.com.br/app/402,61/2013/03/08/interna_ultimas,46563/concreto-sustentavel-economiza-quase-100-de-recursos-da-natureza.shtml>. Acesso em: 12 set. 2013.

MOTTA, A. Sobre Certificado de Sustentabilidade. **Site Revista Memo**, 2013. Disponível em: <<http://www.revistamemo.com.br/arquitetura/certificado-de-sustentabilidade-para-a-construcao-civil/>>. Acesso em: 10 set. 2013.

PASTORE. Classificação e Caracterização dos Solos. In: ABGE, A. B. D. G. D. E. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: FAPESP, 2001. Cap. 12, p. 200.

PORTAL DO CONCRETO. **Site do Portal do Concreto**, 2013. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/aditivo.html>>. Acesso em: 19 Novembro 2013.

PRINCIPI. Geologia de Engenharia. In: ABGE, A. B. D. G. D. E. **Geologia de Engenharia**. Brasília: FAPESP, 2001. Cap. 6.

PROCESSO AQUA. **Referencial Técnico de Certificação**. Edifícios Habitacionais, 2013 - Versão 2. Fundação Vanzolini, Alto da Lapa, SP.

SALOMÃO, F.; ANTUNES, F. Geologia de Engenharia. In: ABGE, A. B. D. G. D. E. **Geologia de Engenharia**. Brasília: FAPESP, 2001. Cap. 6.

TAKAOKA, M. Prefácio. In: AGOPYAN, V.; JOHN, V. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2011.

VASCONCELOS, M.J. (2012). **Estudo de material alternativo (resíduos sólidos da construção civil) para pavimentação de baixo custo no Distrito Federal**. Pesquisa em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Centro Universitário de Brasília, Brasília, DF, 64p.