



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
E ENGENHARIA DE MATERIAIS**

JOSÉ GLÊDSON DE SOUSA SILVA

**PRODUÇÃO DE CONCRETO CIMENTÍCIO COM AGREGADO DE RESÍDUOS DE
VIDRO PLANO TEMPERADO**

Orientadora: Dra. Crislene Rodrigues da Silva Morais

CAMPINA GRANDE - PB
2015

JOSÉ GLÉDSON DE SOUSA SILVA

**PRODUÇÃO DE CONCRETO CIMENTÍCIO COM AGREGADO DE RESÍDUOS DE
VIDRO PLANO TEMPERADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande, Área de concentração: Estrutura, Processamento e Propriedades de Materiais, como requisito final para a obtenção do título de Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais

Orientadora: Dra. Crislene Rodrigues da Silva Morais

Campina Grande - PB
2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S586p

Silva, José Glêdson De Sousa.

Produção de concreto cimentício com agregado de resíduos de vidro plano temperado / José Glêdson de Sousa Silva. – Campina Grande, 2015.
157 f. : il. Color.

Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2015.

"Orientação: Prof.^a Dr.^a. Crislene Rodrigues da Silva Moraes".
Referências.

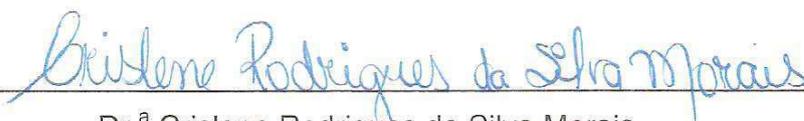
1. Resíduos Vítreos. 2. Comportamento Mecânico. 3. Concreto Estrutural. 4. Vidro Plano Temperado. I. Costa, Ana Cristina Figueiredo De Melo. II. Título.

CDU 620.1(043)

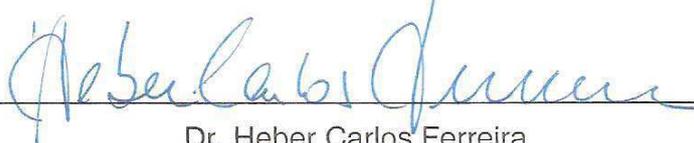
PRODUÇÃO DE CONCRETO CIMENTÍCIO COM AGREGADO DE RESÍDUO DE
VIDRO PLANO TEMPERADO

JOSÉ GLÊDSON DE SOUSA SILVA

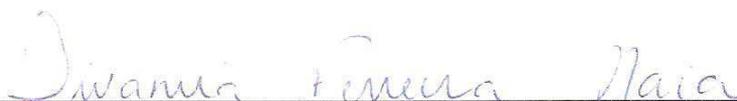
Tese aprovada em 29/04/2015 pela banca examinadora constituída dos seguintes
membros:



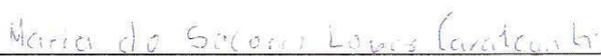
Dr.^a Crislene Rodrigues da Silva Moraes
Orientadora
PPG-CEMat/UAEMa/UFCEG



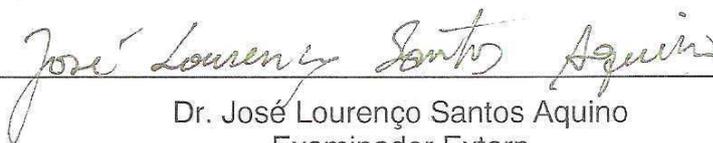
Dr. Heber Carlos Ferreira
Examinador Interno
PPG-CEMat/UAEMa/UFCEG



Dr.^a Divanira Ferreira Maia
Examinadora Externa
IFPB



Dr.^a Maria do Socorro Lopes Cavalcanti
Examinadora Externa
UFPB



Dr. José Lourenço Santos Aquino
Examinador Extern
UFCE

À Deus
À minha esposa e filhas
Aos meus pais José Osvaldo Silva e
Eurídice de Sousa Silva e aos meus
irmãos Eurivaldo e Eurivânia, in
memorium.
DEDICO

A minha Orientadora Dra. Crislene
por toda dedicação e empenho
Aos gestores e professores da Área
de Indústria do IFCE
Aos meus professores e
coordenadores do DEMA/UFCG
Aos meus irmãos e amigos irmãos.
Ao Sr. Lucema
AGRADEÇO

PRODUÇÃO DE CONCRETO CIMENTÍCIO COM AGREGADO DE RESÍDUOS DE VIDRO PLANO TEMPERADO

RESUMO

Voltado para prática da sustentabilidade na construção civil, propõe-se o uso de vidro plano temperado, fragmentado, em substituição à pedra britada em concretos em percentuais de substituição de 0%, 50% e 100%. O trabalho teve como objetivo a análise microestrutural de concretos com traços fixados em 1:3, fatores água/cimento de 0,45, 0,55 e 0,65, submetidos à cura em câmara úmida saturada de hidróxido de cálcio nas idades de 7, 28 e 91 dias. As matérias-primas foram caracterizadas através de análise granulométrica. Os concretos no estado fresco foram classificados através de abatimento por tronco de cone. Os concretos de referência obtiveram classes desde S10 a S160, enquanto que os concretos com adição de vidro variaram de S50 a S220. Os corpos de prova cilíndricos, com dimensões 5 cm x 10 cm, foram submetidos à ensaios de resistência à compressão simples (RCS). Os concreto de referência (0% de vidro) se classificaram com classe de resistência C20 e C25. Já os concretos com percentual de substituição de 50% teve sua classe de resistência variando do C15 ao C30, enquanto que os de 100% de vidro, classes C15 e C20. Empregou-se para o estudo do nível de adesão, na interface vidro/pasta, imagens obtidas via microscopia ótica digital USB, além de microscopia eletrônica de varredura, constatando-se interfaces bem preservadas mesmo após ruptura sob compressão. Utilizou-se difração de Raios-X constatando-se estruturas semelhantes para os diversos valores intervenientes e média geral de cristalinidade superior a 94%. Através de microanálise por energia dispersiva constatou-se que os concretos com percentuais parcial e total tem natureza química semelhante ao concreto de referência. Os valores de RCS e o comportamento do vidro como agregado graúdo permitem o emprego desse concreto em aplicações estruturais, como lajes e pilares, e aplicações não estruturais, a exemplo de pavimentos e pisos.

Palavras chave: Resíduos vítreos, comportamento mecânico, concreto estrutural, reaproveitamento e vidro plano temperado.

PRODUCTION OF CONCRETE CEMENTITIOUS WITH HOUSEHOLD WASTE FLAT GLASS TEMPERED

ABSTRACT

Aiming at sustainability practices in civil construction, it is proposed the use of fragmented, flat tempered glass replacing the crushed stone in concrete in replacement percentages of 0%, 50% and 100%. The research aimed at the microstructural analysis in concrete with traces fixed in 1:3, water/cement factors of 0.45, 0.55 and 0.65, and replacement percentage of 0%, 50% and 100%, subjected to curing in a saturated, calcium-hydroxide humid chamber at the ages of 7, 14 and 28 days. The raw materials were characterized by particle size analysis. The concrete in the fresh state was classified in rebate by conical frustum. The concrete of reference obtained classes from S10 to S160, whereas the concrete with glass addition ranged from S50 to S220. The cylindrical specimens with dimensions of 5 cm x 10 cm underwent strength tests in simple compression(RCS). The concrete of reference(0% of glass) were qualified with resistance class of C20 and C25, and the resistance class of the concrete with replacement rate of 50% ranged from C15 to C30, whereas the class of the concrete with the rate of 100% ranged from C15 to C20. To the study of the adhesion level in the glass/paste interface, there were used images that were obtained via USB digital microscopy and scanning electron microscope, noting well preserved interfaces even after rupture under compression. It was used x-ray diffraction in the process, noting similar structures for the various factors and crystallinity average value greater than 94%. Using dispersive energy microanalysis, it was discovered that the concrete with partial and full percentage has its chemical nature similar to the concrete of reference. The values of RCS and the behavior of glass as coarse aggregate permit the use of concrete in structural applications such as slabs and pillars, and in non-structural ones, like in pavings and floors.

Keywords: glassy wastes , mechanical behavior , structural concrete , reuse and tempered glass .

PUBLICAÇÕES SOBRE O TEMA DA TESE

SILVA, J. G. S.; MORAIS, C., R. S. **Microstrutural analysis by optical and digital concrete microscopy with tempered flat glass.** Journal. Materials Science Forum. Ref. 216-022MSF, Título aprovado e aguardando publicação.

SILVA, J. G. S.; MORAIS, C., R. S. **Análise microestrutural por microscopia óptica digital de concretos com vidro plano temperado.** In: 21º CBECIMAT Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Cuiabá – MT, 2014. p. 2175.1781.

SILVA, J. G. S.; MORAIS, C., R. S. **Concrete produced with tempered flat glass as coarse aggregate.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos. Título aprovado e aguardando publicação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Estrutura molecular do quartzo e do quartzo de vidro	33
Figura 2.2 – Cristais de hidratação do concreto observado em MEV.....	40
Figura 2.3 – Tubo gerador de raios X	41
Figura 2.4 – Analisador de energia dispersiva	42
Figura 3.1 - Fluxograma da pesquisa.....	43
Figura 3.2 - Agitador de peneiras p/ análise granulométrica	45
Figura 3.3 – Frasco de Chapman para determinação de massa específica real do agregado miúdo	46
Figura 3.4 – Proveta graduada para determinação de massa específica real do agregado graúdo	46
Figura 3.5 – Cilindro usado para determinação de massa unitária dos agregados de concreto.....	47
Figura 3.6 – Câmara úmida para os corpos de prova de concreto.....	48
Figura 3.7 – Prensa eletro-hidráulica EMIC 100T	49
Figura 3.8 – Microscópio digital USB com cremalheira	50
Figura 3.9 – Software MicroCapture utilizado na análise por MOD	50
Figura 3.10 - Microscópio eletrônica de varredura modelo SSX-500	51
Figura 3.11 – Micro analisador por energia dispersiva EDX-720/SHIMADZU.....	52
Figura 3.12 - Difratômetro de raios X – SHIMADZU XRD-6000	53
Figura 4.1 – Resistências a Compressão Simples / Concreto com 0% de VPT	57
Figura 4.2 – Resistências a Compressão Simples / Concreto com 50% de VPT.....	57
Figura 4.3 – Resistências a Compressão Simples / Concreto com 100% de VPT	57
Figura 4.4 - Aspecto morfológico da superfície de fratura do concreto 1:1,20:1,80:0,45 – idade 7 dias – 40X.....	60
Figura 4.5 - Aspecto morfológico da trinca de fratura por compressão simples do concreto 1:1,20:1,80:0,45 – idade 7 dias – 40X	61
Figura 4.6 - Aspecto morfológico da superfície de fratura por compressão simples do concreto 1:1,20:1,80:0,45 – idade 7 dias –1000X	62
Figura 4.7 – Aspecto morfológico da fratura por compressão simples do concreto 1:1,20:1,80:0,45 – idade 28 dias –1000X	63
Figura 4.7 – Aspecto morfológico da fratura por compressão simples do concreto 1:1,20:1,80:0,45 – idade 28 dias –1000X	63
Figura 4.8 – Atividade de hidratação nos interstícios no vidro plano temperado	64
Figura 4.9 – Morfologia do concreto - a/c 0,45 - 91 dias – 1000X.....	64

Figura 4.10 - Aspecto morfológico da fratura por compressão simples – a/c 0,55; idade 7 dias – 40X.....	65
Figura 4.11 - Aspecto morfológico da trinca de fratura por compressão simples – a/c 0,55; idade 7 dias – 40X.....	66
Figura 4.12 - Aspecto morfológico da fratura por compressão simples – a/c 0,55; idade 28 e 91 dias – 40X.....	67
Figura 4.13 - Aspecto morfológico da fratura por compressão simples – a/c 0,65; idade 91 dias – 40X e 1000X	68
Figura 4.14 - Formação de trincas para diferentes a/c - concreto com 100% de vidro – 91 dias – 40X.....	69
Figura 4.15 - Agregado graúdo - produto da desagregação da pasta cimentícia – 50% de vidro – 91 dias.....	70
Figura 4.16 - Produtos da desagregação da pasta cimentícia – 50% de vidro – 91 dias.....	70
Figura 4.17 - Pasta cimentícia desagregada e peneirada em malha ASTM 200 – 50% de vidro – 91 dias.....	71
Figura 4.18 - Aspecto morfológico da fratura do concreto – a/c 0,45; idades 7 dias – MEV 3000X.....	73
Figura 4.19 - Aspecto morfológico da fratura para concreto a 0%, 50% e 100% de vidro – a/c 0,45; idades 28 dias – MEV 3000X.....	74
Figura 4.20 - Aspecto morfológico da fratura para concreto a 0%, 50% e 100% de vidro – a/c 0,45; idades 91 dias – MEV 3000X.....	75
Figura 4.21 - Aspecto morfológico da fratura para concreto a 0%, 50% e 100% de vidro – a/c 0,45; idade 28 dias – MEV 6000X.....	76
Figura 4.22 - Aspecto morfológico da fratura para concreto a 50% de vidro – a/c 0,45; idades 7, 28 e 91 dias – MEV 6000X	77
Figura 4.23 - Aspecto morfológico da fratura para concreto a 100% de vidro – a/c 0,45; idades 7, 28 e 91 dias – MEV 6000X.....	78
Figura 4.24 - Aspecto morfológico da fratura para concretos com a/c 0,55 à idade de 28 dias – MEV 3000X.....	79
Figura 4.25 - Aspecto morfológico da fratura para concretos com a/c 0,65 à idade de 28 dias – MEV 3000X.....	80
Figura 4.26 – EDX do concreto 0% de vidro plano temperado, a/c 0,45 aos 28 dias.....	82
Figura 4.27 – EDX do concreto 0% de vidro plano temperado, a/c 0,55 aos 28 dias.....	82
Figura 4.28 – EDX do concreto 0% de vidro plano temperado, a/c 0,65 aos 28 dias.....	83
Figura 4.29 – EDX do concreto 50% de vidro plano temperado, a/c 0,45 aos 28 dias.....	83
Figura 4.30 – EDX do concreto 50% de vidro plano temperado, a/c 0,55 aos 28 dias.....	83

Figura 4.31 – EDX do concreto 50% de vidro plano temperado, a/c 0,65 aos 28 dias.....	84
Figura 4.32 – EDX do concreto 100% de vidro plano temperado, a/c 0,45 aos 28 dias.....	84
Figura 4.33 – EDX do concreto 100% de vidro plano temperado, a/c 0,55 aos 28 dias.....	84
Figura 4.34 – EDX do concreto 100% de vidro plano temperado, a/c 0,65 aos 28 dias.....	85
Figura 4.35 – DRX para concreto de referência com a/c 0,45 aos 28 dias (r04528d).....	86
Figura 4.36 – DRX para concreto de 50 % de vidro com a/c 0,45 aos 28 dias (5004528d).....	86
Figura 4.37 – DRX para concreto de 100 % de vidro com a/c 0,45 aos 28 dias (10004528d).....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Principais cimentos	22
Tabela 2.2 – Classes de consistência pelo abatimento do tronco de cone segundo a norma ABNT NBR 8953 (2009)	23
Tabela 2.3 – Classes de resistência dos concretos	23
Tabela 2.4 – Componentes do Cimento Portland segundo Petrucci (1998).....	28
Tabela 2.5 – Matérias primas do vidro	30
Tabela 2.6 - Composições e características de alguns vidros comerciais	32
Tabela 2.7 - Classificação do vidro segundo ABNT	34
Tabela 2.8 – Técnicas de microscopia	38
Tabela 3.1 – Dosagem dos traços unitários	48
Tabela 4.1 – Caracterização dos agregados.....	54
Tabela 4.2 – Microanálise por energia dispersiva do vidro plano temperado.....	55
Tabela 4.3 – Classificação do concreto por abatimento com tronco de cone segundo a ABNT NBR NM 67/1998	55
Tabela 4.4 – Resistências a Compressão Simples para traço 1:1,20:1,80:A/C	56
Tabela 4.5 – Classificação da resistência dos concretos aos 28 dias segundo a ABNT NBR 8953/2009	58
Tabela 4.6 – EDX do concreto com vidro plano temperado aos 28 dias.....	82
Tabela 4.7 – Picos característicos para concretos de relação água cimento (A/C) 0,45 na idade de 28 dias de hidratação	88
Tabela 4.8 – Grau de cristalinidade dos concretos.	88
Tabela 4.9 – Grau de cristalinidade dos concretos agrupados por a/c.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABIVIDRO	Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	Sociedade Americana de Testes e Materiais
CP	Cimento Portland
DEMa	Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande
DR-X	Difração de Raios-X
DTA	Análise Térmica Diferencial
EDX	Micro Análise por Energia Dispersiva
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MOD	Microscopia Óptica Digital
NBR	Normas Brasileiras
RCS	Resistência a Compressão Simples
LED	Diodo emissor de luz
t	tonelada
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
USB	Universal Serial Bus
VPT	Vidro Plano Temperado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	17
1.1.1 Objetivo geral	17
1.1.2 Objetivos Específicos	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 Concreto	19
2.1.1 Características e propriedades	20
2.1.2 Classificação do cimento Portland	21
2.1.3 Classificação do concreto segundo a norma ABNT	22
2.1.4 Aglomerantes utilizados em argamassas e concretos	23
2.1.5 Agregados na mistura do concreto	24
2.1.6 Reação pozolânica da pasta cimentícia	27
2.2 Vidros	29
2.2.1 Características e propriedades dos vidros	31
2.2.2 Classificação dos vidros de óxidos	33
2.2.3 O vidro como agregado no concreto	34
2.3 Técnicas de Caracterização de Materiais Utilizadas	36
2.3.1 Ensaio Físico-Mecânicos dos Materiais	36
2.3.2 Microscopia	38
2.3.2.1 <i>Microscopia Ótica Convencional/Digital</i>	38
2.3.2.2 <i>Microscopia Eletrônica de Varredura</i>	39
2.3.3 Difração de raios-X	40
2.3.4 Micro análise por energia dispersiva	41
3 MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1. Matérias primas utilizadas na pesquisa	44
3.2. Métodos	44
3.2.1 Caracterização dos agregados	44
3.2.1.1 <i>Análise granulométrica dos agregados</i>	44
3.2.1.2 <i>Massa específica dos agregados</i>	45
3.2.1.3 <i>Massa unitária dos agregados graúdo e miúdo</i>	46
3.2.2 Microanálise por energia dispersiva do vidro plano temperado	47
3.2.3 Dosagem dos concretos	47
3.2.4 Caracterização do concreto no estado fresco	49
3.2.5 Caracterização mecânica dos concretos	49
3.2.6 Caracterização microestrutural	49
3.2.6.1 <i>Microscopia ótica digital (MOD)</i>	50
3.2.6.2 <i>Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</i>	51
3.2.6.3 <i>Micro análise por energia dispersiva EDX</i>	51
3.2.6.4 <i>Difração de raios-X (DRX)</i>	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1 Caracterização dos agregados	54
4.2 Caracterização dos concretos no estado fresco	55
4.3 Caracterização mecânica dos concretos	56
4.4. Caracterização microestrutural	59
4.4.1 Microscopia ótico-digital USB	59
4.4.1.1 <i>Concreto 1:1,20:1,80:0,45</i>	59
4.4.1.2 <i>Concreto 1:1,20:1,80:0,55</i>	65

4.4.1.3 Concreto 1:1,20:1,80:0,65.....	68
4.4.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	70
4.4.2.1 Concretos com relação água/cimento (a/c) 0,45.....	72
4.4.2.2 Concretos com relação água/cimento (a/c) 0,55.....	79
4.4.2.3 Concretos com relação água/cimento (a/c) 0,65.....	80
4.4.3 Micro análise por energia dispersiva (EDX)	81
4.4.4 Difração de raios-X (DRX).....	85
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	92
REFERÊNCIAS.....	93
APÊNDICES	98
APÊNDICE A - Microscopia Óptica Digital - MOD.....	99
APÊNDICE B - Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV	108
APÊNDICE C - Micro análise por energia dispersiva (EDX) das amostras de pasta cimentícia desagregada	117
APÊNDICE D - Grau de cristalinidade das amostras de massa cimentícia desagregada	144

1 INTRODUÇÃO

A reciclagem e o reaproveitamento de resíduos pela indústria da construção civil vêm se posicionando como uma importante prática de sustentabilidade, atenuando o impacto ambiental gerado pelo setor e reduzindo custos. Nessa conjuntura o uso de resíduos industriais, como materiais não convencionais aplicados na construção civil, se amplia gradativamente, a exemplo das indústrias de plásticos e vidro que geram grandes quantidades de resíduos.

Nesse contexto um fato importante a ser considerado, principalmente em se tratando da indústria da construção civil, refere-se ao rarefação de recursos minerais a exemplo de areia e pedra britada, utilizadas como agregados aos concretos, haja visto que a produção anual atual desses materiais ultrapassam 200 milhões de toneladas.

Outro aspecto importante, no tocante ao uso de resíduos sólidos como materiais não convencionais aplicados na construção civil, refere-se ao déficit habitacional que, segundo dados do IPEA (2013), correspondeu a 5,24 milhões de domicílios no Brasil em 2012.

Do ponto de vista da química os agregados utilizados em concretos são materiais inertes que não possuindo nenhuma reação aparente com o cimento podem compreender até 80% do volume total da mistura, adicionados como carga e/ou melhorador de propriedades mecânicas. Desse modo o aproveitamento de resíduos sólidos com tais características torna-se conveniente, pois atende tanto a questão da economia de recursos naturais quanto reduz impactos ambientais relativos ao seu descarte.

No contexto da sustentabilidade voltada à produção de concretos, o uso de agregados alternativos, a exemplo de resíduos poliméricos e vítreos, surge com amplas possibilidades de emprego. Pesquisas acadêmicas recentes apontam para o emprego de PET micronizado, cinzas de casca de arroz e vidro cominuído como agregado miúdo em concretos cimentícios, contudo não se registra o emprego de vidro plano temperado como agregado graúdo.

No que se refere ao uso de vidro como agregado López et al (2005) pondera que a adição de vidro cominuído (vidro soda) no concreto, como agregado fino, pode promover reações álcali-agregado que ocasiona inchamento. Contudo o emprego de

vidros de sílica, aluminossilicato e borossilicato (vidro plano temperado), devido sua natureza física e química não favorecem reações álcalis ao serem utilizados no concreto.

Segundo Lee (2003), os vidros de sílica, borossilicato e aluminossilicato, nos quais o cálcio, boro e alumínio substituí o carbonato de sódio utilizado no vidro comum, apresentam um baixo coeficiente de expansão, podendo resistir a grandes variações de temperatura sem quebrar e por conterem menos álcali são menos susceptíveis à ataques químicos. Desse modo, nesse estudo não ocupou-se com a questão da reação álcali agregado. Além disso, os bons índices de resistência mecânica indicam a não ocorrência dessa reação nos concretos com adição de vidro plano temperado.

Nesse contexto, esse trabalho de pesquisa aborda a produção de concretos com o emprego de resíduos de vidro plano temperado, na forma de cacos, como agregado graúdo. O emprego desse agregado é fundamentado na hipótese de que existam ligações interpartículas, formadas no processo de hidratação da pasta cimentícia, e consequente adesão ocorrente entre os resíduos granulados de vidro plano temperado e os cristais de silicato de cálcio hidratado.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver compósitos cimentícios constituídos por resíduos de vidro plano temperado fragmentado/* como agregado graúdo em substituição à pedra britada.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os agregados (rejeitos de vidro plano temperado, brita e areia média) mediante análise granulométrica, massa específica e massa unitária;
- produzir e classificar o concreto no estado fresco através de abatimento por tronco de cone;
- determinar as propriedades físico/mecânicas dos concretos obtidos através de ensaios à compressão simples;
- avaliar as microestruturas formadas na interface vidro/pasta cimentícia na fase de hidratação do cimento nas idades de 7, 28 e 91 dias, através de

microscopia óptica digital (MOD), microscopia eletrônica de varredura (MEV), difração de raios-X (DR-X) e micro análise por energia dispersiva (EDX).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Concreto

De acordo com Bastos (2006) o concreto é definido como um material de natureza composta, constituído por cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo e ar, podendo conter adições de cinza volante, pozolanas, sílica ativa, aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas.

A norma ABNT NBR: 5732 (ABNT, 1991) define Cimento Portland comum como sendo um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, constituído por silicatos de cálcio, ao qual se adiciona a quantidade necessária de sulfatos de cálcio. Durante esse processo é permitido a adição de materiais pozolâmicos, escórias granuladas de alto-forno e materiais carbonáticos. Os materiais normalmente utilizados para a fabricação do clínquer são calcários ($\text{CaO} + \text{CO}_2$) e argilas ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$).

Segundo Anônimo (2002) o clínquer do cimento Portland, composto por uma mistura de calcário e argila, é submetida a uma temperatura de 1450°C , em um forno giratório, formando pelotas que ao serem resfriadas são moídas transformando-se em um pó que possui a peculiaridade de desenvolver uma reação química em presença de água. O produto dessa reação é uma pasta que após algum tempo endurece, adquirindo elevada resistência e durabilidade. Essa característica faz do clínquer um ligante hidráulico muito resistente.

Bauer (2012) dá a definição de Cimento Portland, como o produto obtido pela pulverização do clínquer, constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias com propósito de facilitar o emprego ou modificar suas propriedades.

Escavações arqueológicas no Iraque revelaram vestígios de uma construção de aproximadamente 4000 a.C. executada parcialmente em concreto. Na Grécia, o cimento hidráulico já era conhecido desde o começo do século V a.C. e foi comumente utilizado para revestir fontes atenienses deste período. O concreto foi usado na construção dos muros de uma cidade romana no século IV a.C. situada a 64km de Roma e no século II a.C. Na construção da via Ápia, dos banhos romanos,

dos aquedutos, do Coliseu e do Pantheon foi utilizada em argamassas de pozolana de Pozzuoli, Itália (KAEFER, 1998).

Segundo Neville (1997), no ano de 1824, o construtor Joseph Aspdin obteve a patente de um aglomerante composto por calcário finamente moído e argila. Este aglomerante se assemelhava na aparência com o cimento hidratado obtido com a pedra de Portland.

2.1.1 Características e propriedades

O largo emprego do concreto na construção civil se deve as suas propriedades de fácil moldagem, custo relativo pequeno, boa resistência à compressão e boa durabilidade quando corretamente dosado e preservado de agentes agressivos.

Através de análises químicas verifica-se que o cimento Portland é composto pelos óxidos principais CaO , SiO_2 , Al_2O_3 e MgO . Quando se adiciona água ao cimento ocorrem reações de hidratação complexas que produzem hidratos tais como $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ e $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Esses hidratos formam um gel ou pasta que recobre as superfícies dos agregados preenchendo as cavidades para formar o concreto sólido (SHRIVER, 2008).

Petrucci (1998), comenta que para facilitar o estudo dos compostos do cimento, é coerente considerá-los formados pela associação de corpos binários contendo oxigênio, aos quais se dá o nome de componentes, determinados a partir de uma análise química. Dentre esses cal (CaO), sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), óxido de ferro (Fe_2O_3), magnésia (MgO), álcalis (Na_2O e K_2O) e sulfatos (SO_3).

Segundo Petrucci (2005) os compostos anidros do concreto Portland reagem com água originando os compostos cristalinos hidratados e gel. Nesse processo, após a hidratação, cristais crescem gradativamente com o tempo devido a formação de uma substância gelatinosa que os envolvem. Esse produto é chamado de gel instável.

O autor acrescenta que, a partir do processo de hidratação, os compostos cristalinos que se formam, crescem e retiram água do gel instável que a medida que se desidrata se torna gel estável que é o agente responsável por grande parte das propriedades mecânicas de resistência das pastas hidratadas endurecidas.

No concreto feito com cimento Portland, um gel rígido, é produzido durante a reação do cimento com água, pega ou reação de hidratação do cimento. Quando

esse cimento é misturado com água, a hidratação, ou absorção de água, produz um gel composto basicamente por silicatos de cálcio hidratados e aluminato de ferro tetracálcico. Quando este gel é formado, ele se une às outras partículas no agregado, formando uma massa rígida que dá “pega”. O concreto então endurece mais, à medida que a hidratação progride para o centro de cada partícula do composto cimentício. Dessa forma os agregados assumem um importante papel no tocante as propriedades relacionadas com a resistência mecânica, notadamente a resistência à compressão (ROMANO, 2012).

Segundo Bauer (2012), a mistura de matérias primas que constituem o Cimento Portland, que contenha, em proporções convenientes, os componentes essenciais (cal, sílica, alumina e óxido de ferro) finamente pulverizados e homogeneizados, são submetidos ao calor no forno produtor de cimento, até a temperatura de fusão incipiente, resultando na produção do clínquer. Nesse processo ocorrem combinações químicas, principalmente no estado sólido, conduzindo a formação de silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$), silicato bicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$), aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$) e ferro aluminato tetracálcico ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AFe}$). Fato esse, comprovado mediante determinação das proporções dos óxidos inicialmente mencionados através de análise química.

Acerca da produção de pastas de cimento Portland, constituídas por aglomerante e água, e argamassas, composto por pasta com adição de agregado miúdo, destacam-se as propriedades físicas densidade, finura, tempo de pega, resistência e exsudação. Já no tocante as propriedades químicas as mais importantes são estabilidade, calor de hidratação, resistência aos agentes agressivos e reações álcali-agregado (PETRUCCI, 1998).

2.1.2 Classificação do cimento Portland

A norma ABNT NBR: 6118 (ABNT, 2003), identifica resistência à compressão dos concretos das classes do grupo I designados por C20, C25, C30, C35, C40, C45 e C50, pelos números, em MPa, correspondendo à idade de 28 dias. Já os concretos das classes do grupo II são designados por C55, C60, C70, C80, C90 e C100, enquanto que os concretos não estruturais por C10 e C15.

De acordo com Siqueira (2008), os cimentos foram originariamente fabricados segundo as especificações de consumidores que encomendavam o produto com certas

características específicas a um trabalho e somente a partir de 1904 as primeiras especificações da ASTM foram introduzidas na indústria limitando-se os tipos de cimento.

Segundo ABCP (2002) no Brasil são produzidos vários tipos de cimento, oficialmente normalizados, classificados em função de sua composição, conforme Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Principais cimentos

Classificação	Tipos
Cimento Portland comum	CP-I
Cimento Portland composto	CP-II
Cimento Portland de alto-forno	CP-III
Cimento Portland pozolânico.	CP-IV
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP-V-ARI
Cimento Portland resistente aos sulfatos	CP-RS

Fonte: ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland (2002)

A Associação Brasileira de Cimento Portland, no boletim técnico 106 (ABCP, 2002), descreve o cimento CP-II-F32 como um Cimento Portland composto com fíler calcário em teor entre 6 e 10%, adequado para uso em estruturas de concreto armado, pavimentos de concreto, argamassa de chapisco, assentamento de blocos, revestimento, pisos e contrapisos, grautes, concreto protendido, pré-moldados e artefatos de concreto.

2.1.3 Classificação do concreto segundo a norma ABNT

O concreto pode ter sua classificação relativa ao preparo, controle e recebimento em relação ao estado fresco ou ao estado endurecido. Para a classificação no estado fresco, através de medida de seu assentamento em laboratório ou obra tem-se a determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone segundo a norma ABNT NBR NM 67/1998. A Tabela 2.2 apresenta exemplos de aplicações segundo a classe de abatimento segundo a norma ABNT NBR 8953/2009.

Tabela 2.2 – Classes de consistência pelo abatimento do tronco de cone segundo a norma ABNT NBR 8953 (2009)

Classe	Aplicações
S10	Concreto extrusado, vibro prensado ou centrifugado
S50	Pavimentos, fundações e pré-moldados
S160	Lajes, vigas, pilares, tirantes e pisos com concreto lançado por bombeamento
S50	Pavimentos, fundações e pré-moldados
S100	Lajes, vigas, pilares, tirantes e pisos com lançamento convencional do concreto
S160	Lajes, vigas, pilares, tirantes e pisos com concreto lançado por bombeamento
S100	Lajes, vigas, pilares, tirantes e pisos com lançamento convencional do concreto
S160	Lajes, vigas, pilares, tirantes e pisos com concreto lançado por bombeamento
S220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras com concreto lançado por bombeamento; elementos com grandes dimensões com lançamento por meio de caçambas

Fonte: NBR NM 8953 (2009)

Para a classificação do concreto no estado endurecido a norma ABNT NBR 8953/2009 traz a classificação de concretos segundo grupos de resistência conforme Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Classes de resistência dos concretos

Grupo I		Grupo II	
Classe	Resistência característica (MPa)	Classe	Resistência característica (MPa)
C10	10	C55	55
C15	15		
C20	20	C60	60
C25	25		
C30	30	C70	70
C35	35		
C40	40	C80	80
C45	45		
C50	50		

Fonte: NBR NM 8953 (2009)

2.1.4 Aglomerantes utilizados em argamassas e concretos

Aglomerantes são materiais de natureza pulverulenta que ao se hidratarem com a adição de água formam uma pasta resistente com capacidade de aglutinar materiais agregados originando concretos e argamassas. Dentre os aglomerantes os mais utilizados na construção civil são a cal, o gesso e o cimento, sendo dentre esses o mais importante (RIBEIRO et al, 2000)

Um conceito mais geral é apresentado por Äitcin (2000) ao afirmar que aglomerante é qualquer material finamente moído, com granulometria próxima do cimento Portland, usado na mistura do concreto.

No tocante aos materiais utilizados nas obras da construção civil, Bauer (2012), classifica os aglomerantes como cimento Portland, asfaltos, cal, gesso e especiais. Ainda, Subclassifica os aglomerantes asfálticos como cimento asfáltico, asfalto líquido e emulsões asfálticas. Já sobre a cal, elucida que este é um aglomerante resultante da calcinação de rochas calcárias, que se apresentam sob diversas variedades, com características resultantes da natureza da matéria prima empregada e do processamento conduzido e finalmente que o gesso é um aglomerante simples, constituído basicamente de sulfatos mais ou menos hidratados e anidros de cálcio, obtido por calcinação da gipsita natural.

2.1.5 Agregados na mistura do concreto

Segundo Garcia *et al.*, (2000), agregados são materiais geralmente inertes (areia e brita de diferentes tamanhos), que não possuindo nenhuma reação aparente com o cimento, compreendem até 80% do volume total da mistura, adicionados a essa com os objetivos de aumentar a resistência mecânica, minimizar a retração durante a secagem e reduzir custos.

O autor esclarece que a resistência do concreto depende da densidade e resistência dos agregados e que esses devem ser estáveis, resistentes à compressão e ao desgaste, terem granulometria bem distribuída de modo a reduzir o volume global da mistura e serem isentos de impurezas ou materiais com efeitos prejudiciais.

Segundo Bauer (2012) agregado é um material particulado, não coesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos, de uso generalizado na tecnologia do concreto. Comenta, ainda, que os agregados são classificados de três maneiras: primeiramente, segundo a origem, como naturais e industrializados; de outra forma, de acordo com as dimensões das partículas, como agregado miúdo (areias) e graúdo (britas e cascalhos) e finalmente, segundo o peso específico aparente, são classificados como: leves, médios e pesados.

A norma ABNT NBR 9935 (ABNT, 2003) apresenta a terminologia para agregados do concreto. Nessa norma a areia é definida como agregado miúdo,

originária de processos naturais e artificiais de desintegração de rochas ou provenientes de outros processos industriais, a exemplo da britagem, sendo assim designada de areia natural ou artificial. Designa, ainda, pedra britada ou brita o agregado graúdo originado através da cominuição artificial de rocha e pedregulho como agregado graúdo utilizado tal qual é encontrado na natureza sem sofrer qualquer tratamento que não seja lavagem e seleção.

A norma ABNT NBR 7211 (ABNT, 2005), define dimensão máxima característica como uma grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondendo à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira das séries normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou intermediária inferior a 5% em massa. Define ainda, módulo de finura como a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

A referida norma cita que a coleta do agregado graúdo deve ser procedida conforme a norma ABNT NBR NM 26 (2009) e reduzida para ensaio de acordo com a ABNT NBR NM 27 (2001). Ainda refere-se a forma dos grãos a serem determinados conforma a norma ABNT NBR 7809 (2006). Ainda sobre agregado graúdo na norma ABNT NBR NM 51 (2001) aborda o ensaio de desgaste através do índice de desgaste por abrasão.

Voltando-se para a questão do esgotamento de recursos naturais consumidos pela indústria da construção civil, que consome em média 1 (um) tonelada de material para a edificação de 1 (um) m², apresenta-se estudo de diversos autores que empreenderam estudo sobre formulação de concretos com emprego de agregados alternativos a exemplo de Ângulo (2002), Aquino (2013) e Lopez (2005).

Segundo Ângulo et al (2002), alguns estudos enfocando os concretos produzidos com agregados reciclados têm recebido atenção em pesquisas, contudo o potencial de aproveitamento dos agregados reciclados necessita ser desenvolvido e isso requer mudanças na gestão e no processamento de resíduos de construção e demolição, além de uma metodologia de dosagem. Entre essas referidas mudanças tem-se a demolição seletiva, a redução de contaminantes, o aprimoramento dos processos de reciclagem, bem como o emprego de novos equipamentos de concentração e britagem.

Em relação ao emprego de agregados reciclados Aquino (2013), propõe metodologia para produção de concretos com a utilização de PET e areia de britagem como agregado miúdo. O autor detalha estudo da produção de concreto com esse agregado para diversas formulações de concretos para aplicações estruturais e não estruturais.

Em relação à utilização de vidro triturado, como agregado miúdo, podem ocorrer duas situações básicas. A primeira, com a adição de pós com tamanho de partícula abaixo de 150 μm , desencadeia reações pozolânica, acarretando ganho de resistência ao concreto. A segunda, com a utilização de pós-grosseiros acima de 150 μm apresenta problemas de aumento de volume gerados pela reação álcali/sílica (POLLEY et al., 1998).

Nesse contexto, segundo De Carvalho (2011), a utilização de pó de vidro, proveniente de descarte, como agregado miúdo no concreto é potencialmente viável na produção tanto de concretos estruturais como não estruturais, obtendo rendimento de 81,4% para teores de substituição de 50% de areia natural por vidro moído à idade de 28 dias, indicando a possibilidade de uso desse concreto para fins estruturais.

Outra contribuição acerca da utilização do vidro como agregado é atribuída à Lopez et al (2005), em pesquisa que avalia as propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com a adição de vidro cominuído como agregado fino, registra valores de resistência mecânica superiores a 50% em relação ao concreto usado como referência.

Zordan (1997) empreendeu estudo acerca da utilização de resíduos produzidos pela indústria da construção civil como uma fonte alternativa de matéria prima, a ser reutilizada no setor, oferecendo bases científicas para o seu fortalecimento. Nesse estudo analisou a reciclagem da parte mineral do entulho, utilizando-a como agregado na confecção do concreto. O resíduo utilizado, proveniente de uma usina de reciclagem de entulho foi analisado granulométrica e qualitativamente, de modo a ser classificado como um agregado. Os concretos obtidos alcançaram resultados aproximados ao do concreto convencional utilizado com referência.

Do ponto de vista de Leite (2001) a preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais têm levado à busca por alternativas de crescimento mais sustentáveis, por parte de todos os segmentos da sociedade, desse modo

empreende estudo acerca do emprego da construção civil proveniente de construção e demolição na produção de concretos convencionais. Os resultados, referentes às propriedades do concreto no estado fresco e propriedades do concreto no estado endurecido foram utilizados na obtenção de modelos matemáticos para estimar cada uma das propriedades avaliadas, e também, foram estabelecidas as relações entre resistência à tração e módulo de deformação em função da resistência à compressão dos concretos.

Segundo Ângulo (2000) em estudo sobre a viabilidade do emprego de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD) é viável desde que sejam empregadas técnicas de homogeneização de agregados já que esses resíduos geram muitos pós, adequando-se melhor como agregado miúdo, além das influências sazonais que dificultam a reciclagem desse tipo de resíduo.

Para Moura (2000), a reciclagem da escória de cobre é viável para sua utilização como adição e como agregado miúdo para concreto. Estudou-se a influência da adição de escória de cobre sobre as características do concreto nos estados fresco e endurecido e seus resultados permitindo a adição de 20% de escória de cobre ao concreto proporcionando melhoria no desempenho em relação a todas as características estudadas e que, ainda, que é possível utilização de escória de cobre como agregado miúdo em até 40% em volume, melhorando o desempenho do concreto, quanto às características estudadas.

Resíduos de cerâmica vermelha proveniente de demolição foram empregados por Cabral (2009), para a produção de concretos. Esses foram analisados com relação a três propriedades: resistência à compressão, módulo de deformação e volume de poros permeáveis (VPP), obtendo-se coeficientes de determinação, acima de 95%.

2.1.6 Reação pozolânica da pasta cimentícia

Um complexo processo de hidratação se inicia com o contato do cimento com a água formando estruturas a exemplo de silicatos como silicato tricálcico (C_3S) e silicato dicálcico (C_2S), liberando hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$ que constituem cerca de 25% dos compostos hidratados da pasta cimentícia (MEHTA e MONTEIRO, 2008)

Petrucci (1998) esclarece que os compostos presentes no cimento Portland em contato com a água reagem formando produtos hidratados. Nesse complexo

processo de hidratação ocorre a formação de uma camada de gel em torno dos grãos dos compostos anidros, de modo que, na zona intermediária entre o cristal primário $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ou portlandita, e o gel (zona de transição), a solução sendo supersaturada em relação aos compostos hidratados, ao ocorrer variações de concentração de soluto e água é gerado um gradiente de concentração, originando uma pressão osmótica que vai trazer a ruptura do gel, expondo novas áreas do composto anidro à ação da água.

A Tabela 2.4 esquematiza algumas informações e adota uma convenção, própria do campo de conhecimento da engenharia do concreto.

Tabela 2.4 – Componentes do Cimento Portland segundo Petrucci (1998)

Componente	Descrição
CaO (C → Cal)	Componente essencial dos cimentos, provenientes da decomposição do carbonato de cálcio, compondo de 60 a 67% da pasta cimentícia.
SiO ₂ (S → Sílica)	Provém de argilas usadas como matéria-prima, em proporção no cimento Portland entre 17 a 25%. É da sua combinação com a cal que resultam os compostos mais importantes do Portland.
Al ₂ O ₃ (A → Alumina)	Possibilita a formação do clínquer, age como fundente e ao combinar-se com a cal, em teor de 3 a 8%, acelera a pega do aglomerante e reduz sua resistência aos sulfatos.
Fe ₂ O ₃ (F → Óxido de ferro)	Componente da argila. Age como fundente. Teor no cimento de 0,5 a 6%.
SO ₃	Tem origem no sulfato de cálcio adicionado ao cimento para regular e retardar a reação de pega.
MgO	Proveniente do carbonato de magnésio presente no calcário, geralmente sob a forma de dolomita (CaCO_3 , MgO_3). Teor no cimento varia de 0,1 a 6,5%.
K ₂ O e Na ₂ O	São álcalis e encontram-se no cimento Portland, em teores de 0,5 a 1,3%. Desenvolvem papel de fundentes na cozedura e agindo como aceleradores da pega.

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Acerca do processo de hidratação do cimento, a teoria coloidal, proposta por Michaelis, postula que na hidratação do cimento origina-se uma solução supersaturada, na qual se formam cristais na forma de agulhas e de palhetas hexagonais. Nesse processo ocorre a formação de um silicato mono-cálcico hidratado, de baixa solubilidade, dando origem a um gel coloidal na massa geleificada, que aprisiona os cristais. Esse gel continua a tomar água acarretando o endurecimento da massa e a consequente impermeabilização (PETRUCCI, 2005).

Le Chatelier (1882), em sua teoria cristaloidal, sobre a hidratação do cimento, esclarece que o aglomerante é um sistema de constituintes anidros instáveis, que na presença da água, tendem a dar um sistema de constituintes hidratados estáveis.

Do ponto de vista da química envolvida na produção do concreto, Zanella (2013), esclarece que as estruturas do concreto mais importante para a observação em microscopia eletrônica são o Silicato de Cálcio Hidratado, o Hidróxido de Cálcio, os Sulfoaluminatos de Cálcio e os grãos de clínquer não hidratados.

Segundo a referida autora o Silicato de Cálcio Hidratado é o principal elemento do concreto endurecido, sendo responsável por 50 a 60% do volume dos sólidos constituintes da pasta cimentícia. Do ponto de vista da estrutura é formado por fibras e reticulado pouco cristalino e um arranjo irregular e dobrado de camadas ao acaso, com espaços interlamelares de tamanho diferente de 5 a 25 Å. A resistência que essa estrutura oferece é devido à forças de Van der Waals.

Outro produto da hidratação da pasta cimentícia é o Hidróxido de Cálcio, conhecido com portlandita. Esse constituinte ocupa de 20 a 25% do volume de sólidos, se apresenta na forma de cristais prismáticos hexagonais e sua contribuição para a resistência do concreto é limitada. Um terceiro constituinte do cimento hidratado é o trissulfoaluminato hidratado de cálcio ou etringita que possui a forma de cristais prismáticos aciculares, contribuindo, dessa forma, com a resistência da pasta endurecida (ZAMELO, 2013).

Da mesma forma, o Monosulfato de Cálcio Hidratado, composto de placas hexagonais, tem uma influência negativa em termos de resistência mecânica. Esse constituinte é resultante da decomposição da etringita devido à alta concentração de sulfatos e aluminatos de cálcio no processo de hidratação do cimento (CARVALHO, 2002).

2.2 Vidros

Petrucci (1998) define vidro como um material complexo, obtido a partir de uma solução sólida de silicatos alcalino-terrosos em silicatos alcalinos simples e mais fusíveis. A sílica, às vezes, é substituída por Boro ou outros anidridos, podendo ainda conter certa quantidade de materiais pesados, a exemplo do chumbo.

Segundo Callister (2008) os vidros constituem um grupo familiar de materiais amorfos, representados por recipientes, janelas, lentes, e fibra de vidros dentre outros. São constituídos por silicatos não-cristalinos que também contém outros óxidos, especialmente CaO, Na₂O, K₂O, e Al₂O₃, cujas presenças influenciam suas propriedades. Como exemplo dessa influência temos o vidro de cal cuja composição possui 70% de SiO₂, e o restante de Na₂O (soda) e CaO (cal).

Segundo o referido autor as matérias primas que compõem o vidro são agrupados em três grupos: os vitrificantes, os fundentes e os estabilizantes, esquematizados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Matérias primas do vidro

Material	Descrição
Vitrificantes	usados para dar maior característica à massa vidrosa e são compostos de anidrido sílico, anidrido bórico e anidrido fosfórico.
Fundentes	possuem a finalidade de facilitar a fusão da massa sílica, e são compostos de óxido de sódio e óxido de potássio
Estabilizantes	tem a função de impedir que o vidro composto de silício e álcalis seja solúvel, e são: óxido de cálcio, óxido de magnésio e óxido de zinco

Fonte: Callister (2008)

Do ponto de vista histórico, os antigos egípcios consideravam o vidro como materiais preciosos. Esse fato é evidenciado por grânulos de vidro e máscaras mortuárias de vidro dourado encontrados nas tumbas de faraós. Registros arqueológicos apontam que homens das cavernas usavam lascas de obsidiana, um vidro vulcânico natural para ferramentas e armas a exemplo de raspadores, facas, machados, e pontas de lanças e flechas (SHELBY, 2005).

O autor discorre que, lendas do Mediterrâneo narram que a primeira produção de vidros artificiais ocorreu quando primitivos ao usarem uma fogueira sobre a areia, acidentalmente promoveram uma combinação de sílica (SiO), sal marinho (NaCl) e ossos (CaO), gerando uma massa vítrea que ao ser encontrado mais tarde por sábios egípcios procuraram reproduzir esse material. Comenta, ainda, que os seres humanos têm produzido vidro por fusão de matérias-primas a pelo menos 9000 anos.

Segundo a ABVIDRO (2009), o vidro plano surgiu entre os anos 500 e 600 d.C. e seu processamento consistia na formação de uma esfera na ponta de uma vara oca, que por sucessivas rotações e sopragem, sofria ampliações sendo

finalmente planejada por percussão. Há relatos que o vidro plano foi trazido do Oriente para Veneza pelos cruzados (ABIVRO 2009).

Este modo de produção do vidro plano por sopro em esfera, por volta de 1200, foi alterado resultando no processo de fabricação por sopro em cilindros. Uma outra conquista neste campo ocorreu por volta de 1700 quando a Saint-Gobain introduziu o processo de laminação de vidro plano. Dessa forma o cristal escoado ou vidro plano foi produzido pela Saint-Gobain por três séculos até que no Séc. XX introduziu-se a produção mecânica de cilindros de 1 m de diâmetro e 12 m de altura, que davam então origem a placas de 3 x 12 m (SEBRAE-SP, 1998).

No ano de 1959 foi desenvolvido um processo revolucionário para fabricação de vidro plano por Pilkington. Esse material, o float-glass, apresenta características de: perfeita planeidade, polidez, excelente transparência e espessura uniforme (PILKINGTON, 2009).

Segundo Figueiredo (2005) mais de 200 (duzentas) empresas produzem vidro no Brasil, sendo que dessas, 24 (vinte e quatro) são integralmente automatizadas, atendendo aos mercados interno e externo.

Do ponto de vista da reciclagem e do reaproveitamento a maior vantagem da utilização do vidro refere-se ao fato de que este é 100% reciclável, isto é, um recipiente de vidro reciclado possui as mesmas qualidades de um fabricado com matérias-primas virgens, independentemente do número de vezes que o material for utilizado (ABIVIDRO, 2009).

Atualmente os vidros planos são fabricados em chapa, utilizados principalmente pela construção civil, seguida pela indústria automobilística e moveleira, na produção de espelhos além de múltiplas outras aplicações (AKERMAN, 2000).

O Brasil produz em média 980 (novecentos e oitenta) mil toneladas de embalagem de vidro por ano, sendo que cerca de 47% das embalagens de vidro são recicladas, somando 470 (quatrocentos e setenta) mil t/ano. Desse total, 40% é oriundo da indústria de envase, 40% do mercado difuso, 10% do "canal frio" (bares, restaurantes, hotéis etc.) e 10 % do refugo da indústria (CEMPRE, 2012).

2.2.1 Características e propriedades dos vidros

A diversidade de materiais empregados como constituintes do vidro conferem à estes larga empregabilidade, devido às diferentes propriedades adquiridas no

processo de produção, conforme Callister (2008) que enumera alguns tipos de vidros comerciais e suas respectivas características e aplicações, conforme Tabela 2.6.

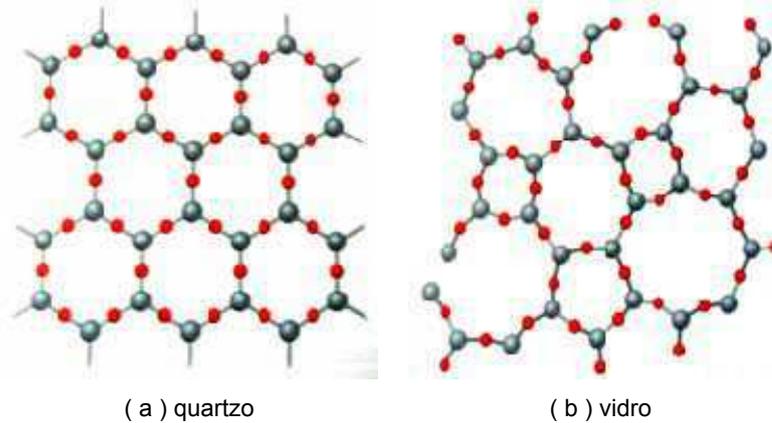
Tabela 2.6 - Composições e características de alguns vidros comerciais

Tipo de vidro	Composição (%)	Características e aplicações
Sílica fundida	99,5 SiO ₂	Alta temperatura de fusão e resistente ao choque
96% Sílica (Vycor)	96 SiO ₂	Resistente a choques térmicos e a ataques químicos / Vidrarias de laboratório
Borosilicato (Pyrex)	81 SiO ₂ , 3,5 Na ₂ O, 2,5 Al ₂ O ₃ , B ₂ O ₃	Resistente a choques térmicos e a ataques químicos / Vidrarias para fornos
Recipientes (Cal de Soda)	74 SiO ₂ , 16 Na ₂ O, 5 CaO, 1 Al ₂ O ₃ , 4 MgO	Baixa temperatura de fusão, boa trabalhabilidade e durabilidade
Fibra de vidro	55 SiO ₂ , 16 CaO, 15 Al ₂ O ₃ , 10 B ₂ O ₃ , 4 MgO	Facilmente estirado na forma de compósitos fibras / Vidro-resina
Sílex ótico	54 SiO ₂	Alta densidade e alto índice de refração / lentes óticas
Vitrocerâmica (Piroceram)	43,3 SiO ₂ , 14 Na ₂ O, 30 Al ₂ O ₃ , 5,5 B ₂ O ₃ , 6,5 TiO ₂ e 0,5 As ₂ O ₃	Fácil fabricação, resistente a choques mecânicos e térmicos / vidrarias para forno

Fonte: Callister (2008).

Brown et al (2005), comenta que o quartzo (SiO₂) fundido ao ser resfriado rapidamente muitas ligações Si-O são quebradas e sua ordem rígida é quebrada dando origem ao vidro de quartzo ou vidro de sílica. Como consequência da amorficidade o vidro se funde em uma faixa de temperatura, consequente do momento em que as forças intermoleculares de várias intensidades são rompidas. As moléculas do quartzo (sílica centralizada) e do vidro de quartzo (sílica vítrea) estão esquematizadas na Figura 2.1(a) e (b).

Figura 2.1 – Estrutura molecular do quartzo e do quartzo de vidro



Fonte: Brown et al (2005)

Segundo Akerman (2000), a velocidade de resfriamento possui influência direta no grau de cristalinidade do vidro produzido. Desse modo, observa-se na Figura 2.1 que a desordem no arranjo estrutural do vidro de quartzo é maior que a do cristal de quartzo. O grau de organização dessa maneira é inversamente proporcional à sua velocidade de resfriamento.

2.2.2 Classificação dos vidros de óxidos

Segundo a norma ABNT NBR-7199/1989 o vidro é classificado segundo o que consta na Tabela 2.7, a seguir:

Tabela 2.7 - Classificação do vidro segundo ABNT

Vidro – Classificação	
Quanto ao tipo	Recozido De segurança temperado De segurança laminado De segurança aramado Térmico absorvente Composto
Quanto à forma	Chapa plana Chapa curva Chapa perfilada Chapa ondulada
Quanto a transparência	Transparente Translúcido Opaco
Quanto ao acabamento de superfície	Liso Polido Impresso (fantasia) Fosco Espelhado Gravado Esmaltado Termo-refletor
Quanto à coloração	Incolor Colorido
Quanto à colocação	Caixilhos Autoportantes Mista
Quanto ao uso na construção	Envidraçamento Paredes Coberturas Concreto translúcido (lajes) Isolamento térmico

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR-7199/1989

2.2.3 O vidro como agregado no concreto

Informações técnicas da ABIVIDRO (2009) indicam que o emprego do vidro como agregado ao cimento é uma ótima opção para quem não pode enviar o caco diretamente para a indústria.

O vidro possui um médio índice de recuperação, ou seja, há a necessidade de se proceder algum beneficiamento industrial ao produto recuperado a fim de transformá-lo novamente em material reutilizável (IBAM, 2011).

Algumas recomendações já podem ser apresentadas de maneira a viabilizar o uso seguro do vidro como agregado. Em primeiro lugar, não é recomendável o emprego do vidro como agregado em peças de responsabilidade estrutural ou em

situações sem responsabilidade estrutural, localizadas em alturas tais que a aceleração durante a eventual queda de pequenas partes, destacadas por ocorrência de fissuras, possa causar danos a pessoas ou outros bens (ABIVIDRO, 2009)

O vidro temperado passa por um processo térmico de têmpera, que consiste no processo de aquecimento gradativo até se atingir a temperatura de 650°C (estado plástico), seguida de brusco resfriamento. Esse processo confere ao vidro resistência mecânica até quatro vezes maior que a do vidro comum e contribui para a fragmentação segura do vidro. A matéria-prima empregada neste tipo de vidro e o processo de fabricação dificultam a reciclagem. Os cacos devem ser descartados no lixo comum (ABIVIDRO, 2009).

O vidro plano por ter sua produção através de processo de conformação mecânica de laminação assume um aspecto superficial aparentemente muito liso sob um olhar macroscópico, contudo, ao submetê-lo a algum tipo de micrografia a exemplo da microscopia, percebe-se vazios ou interstícios que podem ser preenchidos pelos hidratos que compõem o gel formado com a hidratação do cimento como descreve Shriver e Atkins (2008).

Os autores corroboram que na fase de recristalização do concreto, é formada uma rede de cristais que se emaranham proporcionando a manutenção das propriedades mecânica e notadamente a resistência à compressão, em comparação ao concreto convencional. Isso ocorre porque quando o concreto é disperso em água, o sulfato de cálcio e os compostos de cálcio formados a alta temperatura tendem a entrar em solução, e a fase líquida torna-se saturada de espécies iônicas.

Alguns minutos após a hidratação do cimento Portland, como resultado da combinação entre cálcio, sulfatos, aluminatos e íons hidroxila, surgem os primeiros cristais aciculares de um sulfoaluminato de cálcio hidratado chamado etringita. Algumas horas depois, cristais prismáticos de hidróxido de cálcio e pequenos cristais fibrilares de silicato de cálcio hidratado começam a preencher o espaço vazio, antes ocupado pela água e as partículas de cimento em dissolução. Após alguns dias a etringita se torna instável e se decompõe formando placas hexagonais. Aluminatos de cálcio hidratados também formam placas hexagonais (MEHTA, 1994).

Essas estruturas anteriormente descritas tornam o concreto um material de alta complexidade. Desse modo é indispensável o estudo micrográfico detalhando a morfologia das fases que compõem o concreto cimentício.

Mehta (1994) esclarece que a estrutura da pasta na vizinhança de grandes partículas do agregado é muito diferente da estrutura da matriz da pasta do sistema. Desse modo além da fase pasta e fase agregado a zona de transição entre a pasta e o agregado ou região interfacial entre a pasta e o agregado, correspondendo a uma espessura de 10 a 50 μm , constitui uma terceira fase. Essa região de transição é de suma importância para a definição das propriedades da estrutura do concreto.

Outro fator importante para o estabelecimento das propriedades do concreto é que a pasta e a zona de transição sofre a influência do tempo, da umidade ambiente e da temperatura apresentando-se, portanto, de forma não estável. Desse modo a preparação de corpos de prova visando aplicações em engenharia estrutural requer extremos cuidados, principalmente quando se adota um novo tipo de material agregado. Assim, deve-se atribuir especial atenção no estudo do comportamento da interface matriz cimentícia e agregado graúdo de vidro plano temperado.

Para Duart (2008), no estudo do concreto, três fases são de grande importância, a saber, os agregados, a matriz da pasta de cimento e a interface pasta/agregados ou zona de transição. Esclarece ainda que a interface pasta/agregado é um ponto importante para o estudo da microestrutura do concreto por ser essa região um ponto fraco do concreto em relação à resistência mecânica.

Metha (1994) conceitua a zona de transição pasta/agregado como o elo fraco da corrente e como o limiar da resistência do concreto.

Nesse contexto, a reciclagem e reaproveitamento, principalmente no tocante a dificuldade ou inviabilidade da reciclagem de vidros planos temperados juntamente com suas características de baixo índice higroscópico e alta resistência mecânica propicia o desenvolvimento de um processo de produção de elementos estruturais de concreto armado, usando agregados graúdos ou grosseiros em substituição à pedra britada e agregados miúdos ou finos em substituição à areia grossa na preparação do traço.

2.3 Técnicas de Caracterização de Materiais Utilizadas

2.3.1 Ensaios Físico-Mecânicos dos Materiais

Segundo Petrucci (2005) a resistência mecânica à compressão consiste na principal propriedade do concreto no seu estado endurecido, contudo a propriedade

mecânica de resistência à tração é da ordem da décima parte da resistência a compressão.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a resistência mecânica do concreto deve ser a propriedade de maior importância para projetistas e engenheiros de controle de qualidade. Nesse contexto, elementos como o fator água/cimento, adensamento e condições de cura tem efeitos importantes de crucial importância.

Para os referidos autores a escolha de um concreto para uma aplicação específica depende de sua capacidade de suportar a força aplicada, sendo que a alteração que resulta da carga aplicada é chamada de deformação, definida pela mudança de comprimento por unidade de comprimento, sendo a carga chamada de tensão correspondendo à força aplicada por unidade de área.

Para a execução do ensaio de resistência a compressão simples a Norma ABNT NBR 5739/2007 estabelece que a máquina de ensaio deve atender aos valores máximos admissíveis determinados pela ABNT NBR ISO 7500-1/2005. Determina que para ensaios em laboratórios as máquinas devam ser de classe 1, ou melhor, e que em obras admite-se máquinas de classe 2. A presente norma recomenda, ainda, que os equipamentos sejam providos de controle de aplicação de força, de modo que a taxa de carregamento seja aplicada sem a interferência do operador.

Visando o controle tecnológico do concreto a Associação Brasileira de Normas Técnicas estabelece classes de resistência para concretos estruturais e não estruturais. Para concretos estruturais a Norma ABNT NBR 8953/1992 estabelece duas classes de resistência com valores numéricos correspondendo à MPa:

- Grupo I – Classes C20, C25, C30, C35, C40, C45 e C50;
- Grupo II – Classes C55, C60, C70, C80, C90 e C100

Para concretos não estruturais a presente norma estabelece as classes C10 e C15.

Para determinar a resistência característica à compressão a Norma ABNT NBR 5738/2003 os procedimentos para a moldagem e cura de corpos-de-prova, enquanto que a Norma ABNT NBR 5739/2007 estabelece os procedimentos de ensaio em corpos-de-prova cilíndricos.

2.3.2 Microscopia

Segundo Padilha e Ambrósio Filho, (2004), as propriedades dos materiais, em última análise, são determinadas pelas suas microestruturas, ou seja pelos defeitos e constituintes microestruturais que um dado material contém. Desse modo a necessidade do conhecimento das microestruturas dos diversos materiais aplicados em engenharia tem proporcionado o desenvolvimento de inúmeras técnicas experimentais, notadamente a microscopia.

O citado autor classifica a microscopia como microscopia óptica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV), microscopia eletrônica de transmissão (MET) e microscopia de campo iônico (MCI) e comenta que a aplicação de cada técnica é referente a resolução do equipamento, conforme Tabela 2.8.

Tabela 2.8 – Técnicas de microscopia

Técnica de microscopia	Resolução (Å)	Magnificação (X)
Óptica (reflexão/transmissão)	3000	1 – 1500
MEV	200	10 – 20.000
MET (réplicas)	50	500 – 300.000
MET (lâmina)	3	
MCI	< 1	~ 10 ⁶

Fonte: Padilha e Filho (2004).

2.3.2.1 Microscopia Ótica Convencional/Digital

A microscopia óptica permite a análise de grandes áreas e é pouco dispendiosa. Duas são as classes de microscópios ópticos: os de reflexão e os de transmissão. Os primeiros são adequados para a observação de superfícies maciças, a exemplo de materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos, enquanto que os segundos são empregados para a visualização de películas, filmes transparentes e sistemas dispersos em meios líquidos (PADILHA e AMBRÓSIO FILHO, 2004).

Do ponto de vista estrutural, o autor comenta um microscópio óptico é composto por um suporte para a amostra, um conjunto óptico formado por lentes objetiva, projetiva e uma tela ocular. A resolução do microscópio óptico é limitada pelo comprimento de onda da luz visível, da ordem de 4000 a 8000 Angstroms. Por essa modalidade de microscopia pode-se observar defeitos cristalinos e constituintes microestruturais maiores que 0.5 µm

A respeito da microscopia óptico-digital, esta foi desenvolvida como consequência de tecnologia recente envolvendo os recursos de potentes luzes LED brancas e tecnologias micro-eletrônicas e digitais.

Os diodos emissores de luz (LED's) proveem iluminação devido ao movimento de elétrons em um material semicondutor. Este fenômeno é decorrente da eletroluminescência, ou seja, a luminescência causada pela ação de um campo elétrico sobre um material sólido ou um gás (Norma ABNT NBR NM 248/2003).

O microscópio digital USB é projetado para PC com interface amigável. O software especial pode apoiá-lo para ter imagem de vídeo registro, e medem micro-trabalho com facilidade. É composto por um sensor de imagem de 2.0 Mega Pixels e resolução de captura de vídeo de 160x120 a 1600x1200 no formato AVI, LED's de 600 lumens e relação de ampliação de até 1000x (OVERSITE, 2013).

A imagem é definida através do contraste automático de luz. Esse processo se inicia quando a iluminação proveniente dos LED's é refletida sobre uma superfície. Em seguida, o feixe de luz passa por um sistema ótico de ajuste fino e, finalmente, incide em uma micro-câmera. O ajuste automático da imagem é resolvido em ambiente de software que define o melhor contraste para dada intensidade luminosa e ampliação. Desse modo se obtém imagens coloridas in loco.

2.3.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura

A microscopia eletrônica de varredura, por permitir profundidade de foco, se torna adequada para a análise com grandes aumentos de superfícies irregulares, como superfícies de fratura.

Padilha e Ambrósio Filho (2004) descrevem o processo de formação da imagem no microscópio eletrônico de varredura (MEV) da seguinte forma: Elétrons são acelerados e forçados a passar por lentes eletromagnéticas com a função de colimá-los. Em seguida o feixe de elétrons, finamente colimados, é direcionado outro conjunto de bobinas de modo a fazer uma varredura na superfície da amostra. A imagem é, então, produzida quando bobinas de deflexão, de um tubo de raios catódicos, sincronizadas com as bobinas de varredura, formam uma imagem similar à imagem de varredura, porém aumentada. No tubo de raios catódicos, os elétrons sincronizados entre as bobinas de varredura e deflexão são modulados e registrados por um ponto, com luminosidade específica, na tela do tubo.

As imagens produzidas por MEV são de grande utilidade na tecnologia do concreto por oferecer detalhes dos complexos cristalinos formados durante a fase de hidratação e aspectos morfológicos da interface pasta cimentícia/agregado, notadamente em estudo de concretos utilizando materiais alternativos a exemplo das pesquisas de Tashima (2006), Rossignolo (2007), Kreuz (2002) e Hoppen (2006). A Figura 2.3 apresenta os cristais formados durante a fase de hidratação do concreto observado através de micrografia obtida mediante microscopia eletrônica de varredura.

Figura 2.2 – Cristais de hidratação do concreto observado em MEV



Fonte: Electron Optics Image Gallery - JEOL (2013)

Tashima (2006) empreendeu estudo de caracterização de concretos com a utilização de cinzas de casca de arroz em matrizes de cimento Portland. Douro modo, Rossignolo (2007) avaliou a zona de transição interfacial pasta-agregado leve em concretos com sílica ativa e látex. Kreuz estudou concretos com adição de cinzas pesadas de termelétricas na substituição de cimento e areia. Finalmente Hoppen (2006) empreendeu estudos em concretos com uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento Portland. Em todos esses trabalhos a utilização de imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura proporciona riqueza de detalhes micro estruturais, possibilitando uma interpretação qualitativa de constituintes e da zona de transição pasta/agregado.

2.3.3 Difração de raios-X

A técnica de difração de raios-X (DRX) possibilita a identificação de fases cristalinas e não cristalinas presentes nos materiais aplicados em engenharia. Desse

modo pode ser empregado no estudo dos cristais formados no processo de hidratação da pasta cimentícia nos concretos (DUART, 2008).

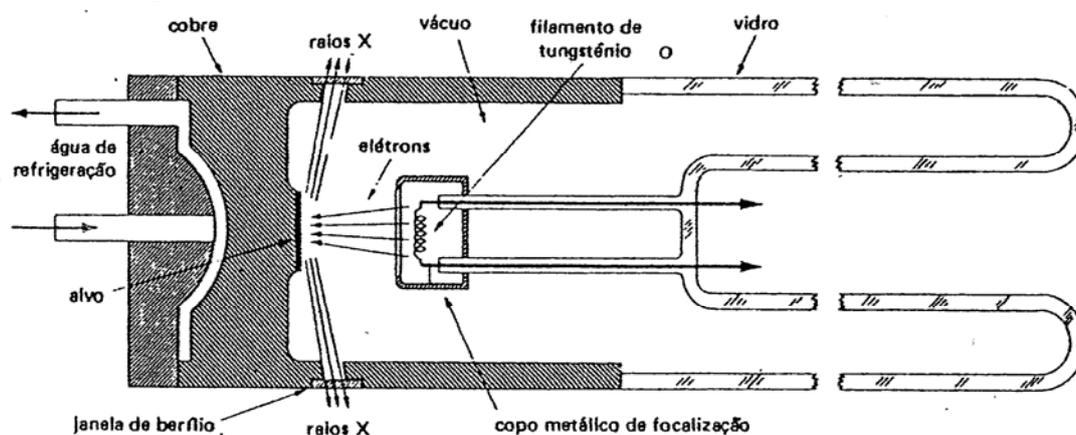
Cada elemento da tabela periódica tem uma distribuição de elétrons bem definida dentro do átomo e a excitação desses elétrons produz um espectro característico, possibilitando a microanálise de diversos materiais (DE SOUZA SANTOS, 1992).

Para Padilha e Filho (2004), os métodos de difração (raios X, nêutrons e elétrons) são de grande importância para a análise microestrutural pois fornecem informações sobre a natureza e os parâmetros dos reticulados dos materiais, bem como tamanho, perfeição e orientação dos cristais.

Segundo o autor os métodos de difração de raios X se aplicam ao estudo tanto de monocristais como de policristais. No primeiro caso se aplica radiação branca sob espectro contínuo com ângulo de incidência fixo. No segundo caso, para materiais policristalinos, se aplica o método do pó, em que a radiação incidente é monocromática com ângulo Θ (teta) variável.

A Figura 2.3 esquematiza um tubo gerador de raios X.

Figura 2.3 -- Tubo gerador de raios X



Fonte: Padilha e Ambrósio Filho (2004)

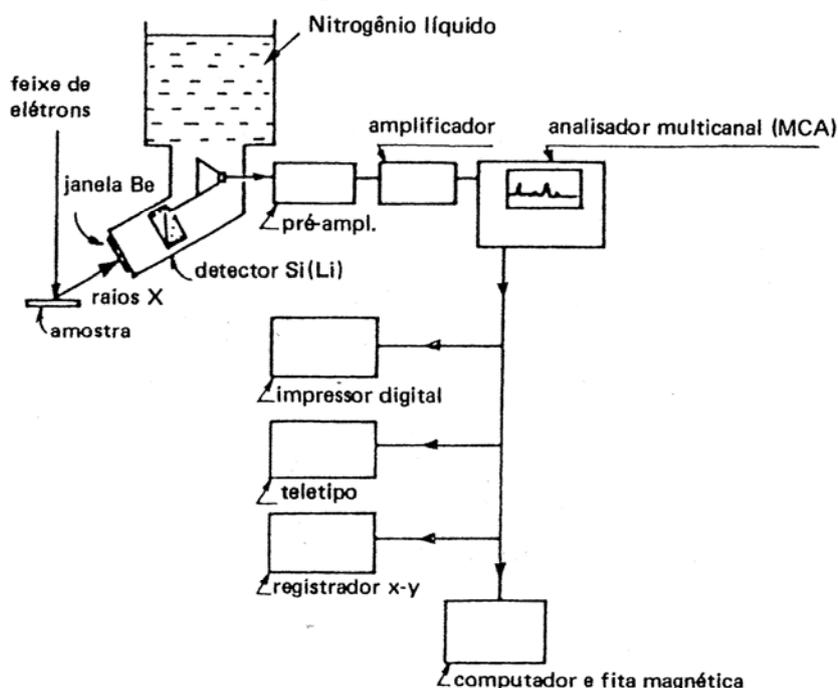
2.3.4 Micro análise por energia dispersiva

Segundo Padilha e Filho (2004), a informação mais importante a respeito de um material é certamente sua composição química, sendo geralmente o primeiro item nas listas de especificação. Esclarece, ainda, que tão importante quanto a composição química é o conhecimento da distribuição desses elementos no volume

do material estudado. Desse modo, dentre as técnicas mais utilizadas na análise química de micro-regiões tem-se a análise por energia dispersiva.

O autor esclarece que os raios X são normalmente examinados pela análise de seus comprimentos de onda ou pela análise de suas energias dispersivas. No segundo caso tem-se a análise por energia dispersiva em que a identificação dos raios X obtidos pela amostra é a medida de sua energia por meio de detectores de estado sólido. Desse modo os vários comprimentos de onda da radiação emitida pela amostra são separados com base em suas energias, utilizando-se um contador de Si(Li) e um analisador de amplitude multicanal. A Figura 2.4 esquematiza um analisador de energia dispersiva.

Figura 2.4 – Analisador de energia dispersiva



Fonte: Padilha e Ambrósio Filho (2004)

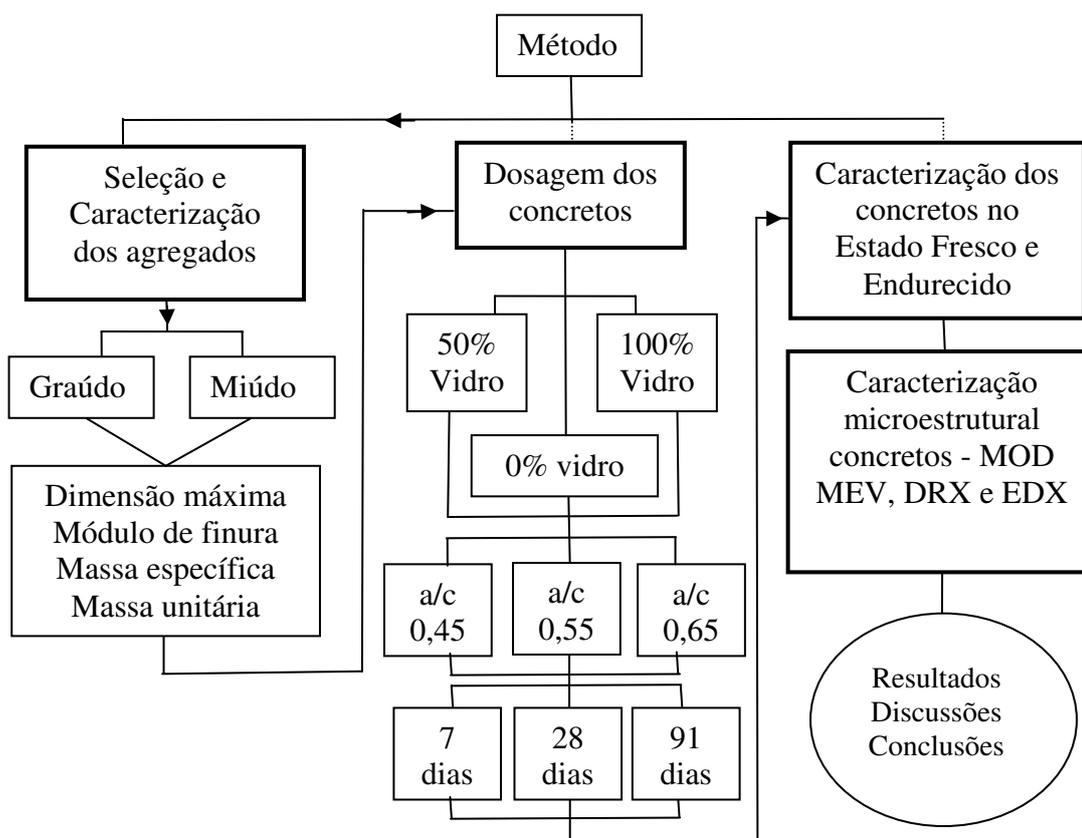
Para Bichinho (2008) quando raios X são difratados sobre a superfície de cristais, possuindo energia suficiente para promover a ionização de gases causam transições eletrônicas nas camadas internas dos átomos através de absorções fotoelétricas o que possibilita a aplicação desse fenômeno em análises químicas através de emissões secundárias.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Adota-se um perfil de pesquisa experimental quanto aos procedimentos metodológicos, referentes aos diversos métodos de engenharia empregados, e pesquisa aplicada quanto à natureza da pesquisa, por tratar-se de uma aplicação específica dentro do campo da engenharia (GIL, 1996). Parte desse trabalho trata, ainda, da análise de imagens, tendo assim um viés de pesquisa qualitativa, pois o objeto da observação não é traduzido em números, na qual pretende verificar a relação da realidade com o objeto de estudo, obtendo várias interpretações de uma análise indutiva por parte do pesquisador (RAMOS et al., 2003).

O fluxograma apresentado na Figura 3.1 sintetiza o planejamento da pesquisa.

Figura 3.1 - Fluxograma da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo Autor (2014)

3.1 Matérias primas utilizadas na pesquisa

Para a realização da pesquisa foram utilizados os seguintes materiais: areia média natural, brita 0, cimento CP II F-32 e sucata de vidro plano temperado.

Os materiais areia média natural, brita 0 e cimento CP II F-32 foram adquiridos no comércio de Campina Grande - PB, armazenados em quantidade suficiente para todas as dosagens, garantindo assim a uniformidade das propriedades.

Os cacos de vidro plano temperado, proveniente de sucata de para-brisas laterais automotivos e vidraças, na forma de placas de espessuras de 6 a 8 mm, foram recebidos em caráter de doação na cidade de Fortaleza - CE. Os grânulos foram obtidos mediante fragmentação por impacto através de ferramenta manual de percussão.

3.2 Métodos

As matérias primas foram caracterizadas por análise granulométrica; massa específica; massa unitária e os concretos foram caracterizados no estado fresco e no estado endurecido com o uso de equipamentos existentes na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG / UAEMA através das técnicas: abatimento por tronco de cone, resistência a compressão simples, microscopia óptico digital, microscopia eletrônica de varredura difração de Raios-X e micro análise por energia dispersiva.

3.2.1 Caracterização dos agregados

Nesta etapa procedeu-se a caracterização dos agregados (areia média, brita 0 e vidro).

3.2.1.1 Análise granulométrica dos agregados

A dimensão máxima e o módulo de finura dos agregados miúdo e graúdo foram obtidos em conformidade com a Norma ABNT NBR NM 248/2003 (Agregados - Determinação da composição granulométrica) mediante ensaio realizado no Laboratório de Engenharia de Pavimentos do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Campina Grande.

Foram utilizados: um agitador de peneira Bertel; oito peneiras de aberturas 9,50; 6,30; 4,75; 2,36; 1,18; 0,600; 0300; 0,150 mm, tampa e fundo. Estes ensaios foram realizados em duas etapas: a primeira com as peneiras: 9,50; 6,30 e 4,75 mm, em seguida com as peneiras 2,36; 1,18; 0,600; 0300; 0,150 mm. A Figura 3.2 apresenta o agitador com peneiras.

Figura 3.2 - Agitador de peneiras p/ análise granulométrica



Fonte: Arquivo do Autor (2013)

3.2.2.2 Massa específica dos agregados

A massa específica do agregado miúdo foi determinada segundo a Norma ABNT NM 52/2009 (Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente) e massa específica do agregado graúdo segundo a Norma ABNT NM 53/2009 (Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água).

A massa específica da areia média foi determinada mediante o emprego de balança eletrônica e frasco de Chapman, conforme Figura 3.3, no Laboratório de Engenharia de Pavimentos do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Campina de Grande.

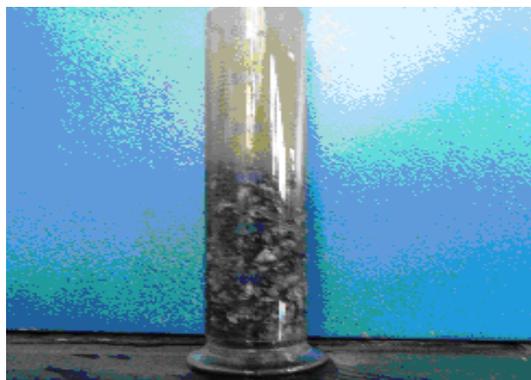
Figura 3.3 – Frasco de Chapman para determinação de massa específica real do agregado miúdo



Fonte: Arquivo do Autor (2013)

As massas específicas da brita 0 e cacos de vidro plano temperado foram determinadas mediante o emprego de balança eletrônica e proveta graduada, conforme Figura 3.4, no Laboratório de Engenharia de Pavimentos do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Campina Grande.

Figura 3.4 – Proveta graduada para determinação de massa específica real do agregado graúdo



Fonte: Arquivo do Autor (2013)

3.2.2.3 Massa unitária dos agregados graúdo e miúdo

Em relação à massa unitária dos agregados miúdo e graúdo seguiu-se a Norma ABNT NM 45/2006 (Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios).

As massas unitárias dos agregados graúdos e miúdo (brita 0, cacos de vidro plano temperado e areia) média foram obtidas com o emprego de um recipiente cilíndrico de volume 1570 cm^3 e massa de 2900 g e uma balança no Laboratório de

Resíduos de Materiais do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal Campina Grande, conforme Figura 3.5

Figura 3.5 – Cilindro usado para determinação de massa unitária dos agregados de concreto.



Fonte: Arquivo do Autor (2013)

3.2.2 Microanálise por energia dispersiva do vidro plano temperado

Procedeu-se a microanálise por energia dispersiva de uma amostra do vidro plano temperado visando a identificação deste como sendo um vidro de natureza borossilicata, aluminossilicata, vidro de sílica ou vidro de soda. Segundo Lee (2003) dentre esses tipos de vidro o último tipo é suscetível a ataque químico e devido a esse fato sofrer reação álcali agregado durante a cura do concreto com esse agregado.

3.2.3 Dosagem dos concretos

Para a produção dos concretos a serem avaliados do ponto de vista microestrutural fixou-se os seguintes valores intervenientes:

- Traço 1:1,20:1,80:a/c ou simplesmente 1:3:a/c;
- Relação água cimento (a/c) 0,45; 0,55 e 0,65;
- Percentuais de substituição 0%, 50% e 100%;
- Idades de cura de 7, 28 e 91 dias.

Para o concreto de referência, com 0% de vidro plano temperado (VPT), foram dosados com traços 1:3, com designação 1:1,20:1,80:**0,00**:a/c (cimento:agregado miúdo:agregado graúdo:relação água/cimento), com fatores a/c de 0,45, 0,55 e 0,65. Isso corresponde à traços com 0% de vidro (realçado em negrito na designação do traço). Os traços com percentual de substituição de 50%

de VPT é representado por 1:1,20:0,90:0,90:a/c e o traço com percentual de substituição de 100% por 1:1,20:0,00:1,80:a/c, correspondendo à seguinte formulação em termos relativos mássicos: cimento/cimento:agregado miúdo/cimento:agregado graúdo/cimento:água/cimento. A Tabela 3.1 esquematiza a dosagem dos traços unitários.

Tabela 3.1 – Dosagem dos traços unitários

Dosagem dos concretos		
Traço	a/c	Designação
Referência (0% VPT)	0,45	1:1,20:1,80:0,00:0,45
	0,55	1:1,20:1,80:0,00:0,55
	0,65	1:1,20:1,80:0,00:0,65
50% de VPT	0,45	1:1,20:0,90:0,90:0,45
	0,55	1:1,20:0,90:0,90:0,55
	0,65	1:1,20:0,90:0,90:0,65
100% de VPT	0,45	1:1,20:0,00:1,80:0,45
	0,55	1:1,20:0,00:1,80:0,55
	0,65	1:1,20:0,00:1,80:0,65

Fonte: Elaborada pelo Autor (2013).

Após a definição dos traços produziu-se 21 corpos de prova, com dimensões 5 x 10 cm, a serem rompidos nas idades de cura de 7, 28 e 91 dias, totalizando 189 corpos de prova, a serem ensaiados conforme a Norma ABNT NBR 5738/2008 (Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova). Figura 3.6.

Empregou-se corpos de prova reduzidos devido limitações da prensa de 100 kN e brita 0.

Figura 3.6 – Câmara úmida para os corpos de prova de concreto



Fonte: Arquivos do Autor

3.2.4 Caracterização do concreto no estado fresco

Após a produção de cada variável do concreto foi procedido o abatimento em tronco de cone visando sua classificação de consistência e grupo de resistência segundo a norma ABNT NBR 8953/2009.

3.2.5 Caracterização mecânica dos concretos

Obedecendo a idade de cura em câmara úmida, para cada variação na composição do concreto, segundo a Norma ABNT NBR 5738/2008, os corpos de prova foram submetidos à caracterização mecânica quanto à resistência a compressão, conforme a Norma ABNT NBR 7215/1996, utilizando a prensa eletro-hidráulica computadorizada de fabricação da EMIC, de capacidade 100 kN no Laboratório de Reciclagem/ UAEMa, conforme Figura 3.7.

Figura 3.7 – Prensa eletro-hidráulica EMIC 100T



Fonte: Arquivo do Autor

3.2.6 Caracterização microestrutural

Após as etapas de caracterização das matérias primas, moldagem e caracterização mecânica dos concretos procedeu-se a caracterização microestrutural dos concretos visando o estudo das propriedades espectroscópicas e morfológicas na região da interface pasta/agregado graúdo, mediante as técnicas de difração de raios X (DRX), fluorescência de raios X ou micro análise por energia dispersiva (EDX), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia ótica digital.

3.2.6.1 Microscopia ótica digital (MOD)

De cada variável de corpo de prova ensaiado por RCS, a saber percentual de substituição, idade e a/c, tomou-se uma delas como amostra para produzir-se imagens representando os aspectos morfológicos da fratura, trincas e comportamento da interface. Utilizou-se para tal um microscópio digital USB, adaptado em mecanismo de cremalheira e fuso milimétrico para possibilitar um melhor ajuste do foco, conforme a Figura 3.8.

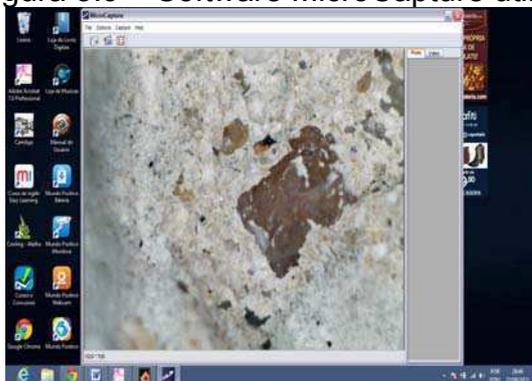
Figura 3.8 – Microscópio digital USB com cremalheira



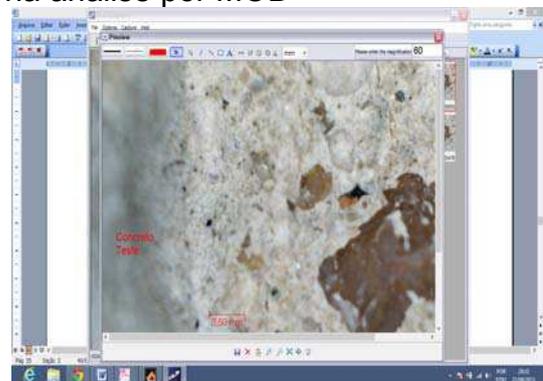
Fonte: Arquivo do autor

O software MicroCapture fornece imagem in loco capturada pelo microscópio USB, conforme Figura 3.9 (a). A imagem pode ser manipulada com ferramentas de edição, desenho e medição, conforme Figura 3.9 (b)

Figura 3.9 – Software MicroCapture utilizado na análise por MOD



(a)



(b)

Fonte: Arquivo do autor (2013).

Para variedade do concreto, a saber, relação água cimento, composição e idade de ruptura, capturou-se uma (01) imagem representando o aspecto morfológico geral da fratura e uma (01) imagem detalhando uma trinca, ambas com magnificação de 40X. Capturou-se, também mais duas (02) imagens, com magnificação de 1000X, da região interface brita/pasta cimentícia, no caso dos concretos de referência, ou vidro/pasta cimentícia, correspondente aos concretos com 50 e 100% de percentual de substituição de brita por vidro plano temperado, totalizando 108 imagens.

3.2.6.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Desagregou-se uma pequena parte dos agregados graúdos, dos quais foram selecionadas amostras, contendo pasta aderida, para serem analisadas com MEV.

Para a análise foi utilizado um microscopia eletrônica de varredura (MEV), com detector de espalhamento, de marca Shimadzu, modelo SSX-500, conforme Figura 3.10.

Figura 3.10 - Microscópio eletrônica de varredura modelo SSX-500



Fonte: Arquivo do autor (2013).

3.2.6.3 Micro análise por energia dispersiva EDX

Após a retirada das amostras do agregado graúdo para análise em MEV, como descrito na sessão 3.2.6.1, o conteúdo restante, correspondente à pasta com agregado miúdo, foi pilado em pilão convencional de madeira, de capacidade de 3 litros e passado por peneira 16, segundo a norma ABNT NBR NM-ISO 3310-1/1997, com 1,18 mm de abertura. O material passante nessa etapa foi submetido à ação de almofariz e pistilo e peneiramento em malha 200 com abertura de 75 μ , segundo a norma ABNT NBR NM-ISO 3310-1/1997.

Os produtos obtidos na etapa anterior foram cuidadosamente selecionados e identificados com o propósito de proceder-se a caracterização minuciosa através de micro análise por energia dispersiva (EDX) e por difração de raios X (DRX), com o propósito de analisar-se o nível de formação dos cristais de hidratação em cada relação água/cimento, idade de cura e percentual de substituição.

Parte das amostras foram submetidas à micro análise por energia dispersiva (ERX) pelo método semiquantitativo, sob vácuo, utilizando o equipamento EDX-720 marca SHIMADZU, conforme a Figura 3.11, pertencente ao Laboratório de Caracterização de Engenharia de Materiais/UAEMA .

O objetivo da caracterização de cada variante do concreto por EDX visa a comparação dos constituintes químicos presentes em cada amostra de modo a evidenciar diferenças no processo de formação cristalina do concreto com a utilização de agregado graúdo com brita 0 e com grânulos de vidro plano temperado.

Figura 3.11 – Micro analisador por energia dispersiva EDX-720/SHIMADZU



Fonte: Elaborado pelo autor (2013)

3.2.6.4 Difração de raios-X (DRX)

Outra parte das amostras foram destinadas à análise por difração de raios X, Utilizando-se um equipamento difratômetro de raios X da SHIMADZU, modelo XRD-6000, conforme Figura 3.12, pertencente ao Laboratório de Caracterização de Engenharia de Materiais/UAEMA. O referido equipamento utiliza radiação de $\text{CuK}\alpha$ e comprimento de onda $\lambda=1,5406 \text{ \AA}$ e opera a uma voltagem de 40KV e corrente de 30mA. A amostra em forma de pó foi analisada em um intervalo de varredura de 2θ , entre 5 e 60 graus, a uma taxa de $2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$.

Figura 3.12 - Difratorômetro de raios X – SHIMADZU XRD-6000



Fonte: Arquivo do autor (2013)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos agregados

Para utilização em traços a serem dosados com o objetivo de se estudar o comportamento dos concretos com base na substituição parcial/total do agregado graúdo brita 0 por vidro plano temperado, dispostos na forma de grânulos ou cacos de granulometria compatível, os agregados foram inicialmente caracterizados por análise granulométrica, massa específica e massa unitária. Os resultados constam na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Caracterização dos agregados

Ensaio	Brita 0 (B0)	Vidro Plano Temperado (VPT)	Areia Média	Norma (ABNT)
Dimensão máxima (mm)	9,5	9,5	4,8	NM 248
Módulo de finura	5,45	5,80	2,5	NM 248
Massa específica (g/cm ³)	2,650	2,520	2,640	NM 52 e NM 53
Massa unitária (kg/m ³)	1330	1410	1250	NM 45

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Em relação às propriedades do módulo de finura, massa específica e massa unitária, o vidro temperado plano demonstra compatibilidade com a brita 0. Isso possibilita as mesmas características de empacotamento dos concretos de referência e com substituição com agregado graúdo de vidro plano temperado disposto na forma de cacos.

O módulo de finura para a areia média na zona ótima deve ficar entre 2,2 a 2,9. No caso estudado apresentou valor de 2,5; atendendo às especificações da Norma ABNT NBR NM 248/2003, conforme Tabela 4.1.

Para a brita 0, na zona ótima, o módulo de finura deve ficar compreendido entre 4,8 e 12,5. Desse modo a amostra de brita 0, assim como a de cacos de vidro plano temperado satisfaz às especificações da Norma ABNT NBR NM 248/2003, conforme Tabela 4.1.

A amostra de vidro plano temperado submetida à microanálise por energia dispersiva (EDX) apresentou em sua constituição os elementos químicos constantes na Tabela 4.2, constatando que o vidro utilizado trata-se de vidro de sílica e dessa maneira por ser resistente à ataque químico é consequentemente não suscetível à

reação álcali agregado. Desse modo nesse estudo não se deteve à investigação dessa reação.

Tabela 4.2 – Microanálise por energia dispersiva do vidro plano temperado

Elemento	% massa
Si	59.501
Ca	35.017
K	2.6445
Fe	1.1272
Al	1.0663
Outros	0.6443

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

4.2 Caracterização dos concretos no estado fresco

Procedeu-se a caracterização do concreto no estado fresco por meio de abatimento em tronco de cone com o objetivo de classificá-lo segundo a norma ABNT NBR 8953/2009. A Tabela 4.3 Classifica os concretos segundo o abatimento com tronco de cone e sugere algumas aplicações típicas.

Tabela 4.3 – Classificação do concreto por abatimento com tronco de cone segundo a ABNT NBR NM 67/1998

Concreto 1:3	A/C	Abatimento (mm)	Classe	Aplicações típicas
Referencia (1:1,20:1,80:0,00,A/C)	0.45	20	S10	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
	0.55	70	S50	Pavimentos, fundações e pré-moldados
	0.65	160	S160	Lajes, vigas, pilares, tirantes e pisos com concreto lançado por bombeamento
50% de vidro (1:1,20:0,90:0,90:A/C)	0.45	50	S50	Pavimentos, fundações e pré-moldados
	0.55	120	S100	Lajes, vigas, pilares, tirantes e pisos com lançamento convencional do concreto
	0.65	200	S160	Lajes, vigas, pilares, tirantes e pisos com concreto lançado por bombeamento
100% de vidro (1:1,20:0,00:1,80:A/C)	0.45	120	S100	Lajes, vigas, pilares, tirantes e pisos com lançamento convencional do concreto
	0.55	180	S160	Lajes, vigas, pilares, tirantes e pisos com concreto lançado por bombeamento
	0.65	230	S220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras com concreto lançado por bombeamento; elementos com grandes dimensões com lançamento por meio de caçambas

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

O fato de que a brita, devido a sua natureza heterogênea, retém água mediante absorção, além de adsorção e por capilaridade faz com que os concretos apresentem-se mais consistentes que aqueles nos quais se empregou os grânulos de vidro que não retém água por absorção, por tratar-se de material de natureza impermeável.

Desse modo os valores da relação água/cimento (a/c) para uma dada consistência em relação ao concreto convencional podem ser reduzidos quando se tratar de concreto com adição de vidro plano temperado. Assim, para o melhoramento dos valores de resistência a compressão deve-se proceder a um estudo detalhado da a/c , que não é o foco dessa pesquisa.

4.3 Caracterização mecânica dos concretos

Os traços 1:1,20:1,80:0,45 e percentuais de substituição de brita 0 por cacos de vidro temperado plano em 0, 50 e 100% foram submetidos a ensaios de compressão simples, com a utilização de prensa eletro-hidráulica computadorizada de fabricação da EMIC, de capacidade 100 kN no Laboratório de Reciclagem da UFCG, ensaiados nas idades de 7, 28 e 91 dias, segundo a norma ABNT NBR 7215. Os resultados obtidos constam na Tabela 4.4.

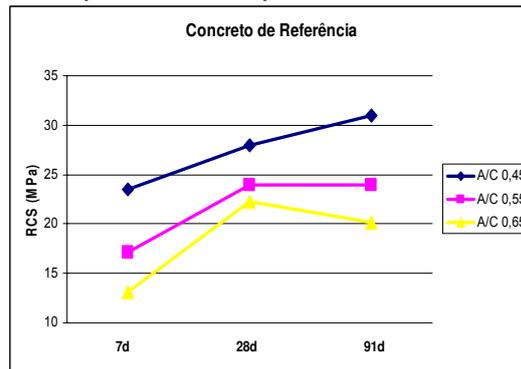
Tabela 4.4 – Resistências a Compressão Simples para traço 1:1,20:1,80:A/C

Resistência a compressão simples - RCS (MPa)				
Traço Substituição de agregado graúdo (%)	A/C	Idade (Dias)		
		7	28	91
Referência 1:1,20:1,80:0,00A/C	0,45	23,5	28,0	31,0
	0,55	17,1	24,0	24,0
	0,65	13,1	22,3	20,2
50% vidro 1:1,20:0,90:0,9:A/C	0,45	22,2	30,3	32,3
	0,55	17,6	23,6	22,4
	0,65	13,3	18,6	19,4
100% vidro 1:1,20:0,00:1,80:A/C	0,45	16,3	21,8	18,8
	0,55	13,5	17,8	18,4
	0,65	13,9	19,1	18,6

Fonte: Elaborado pelo autor

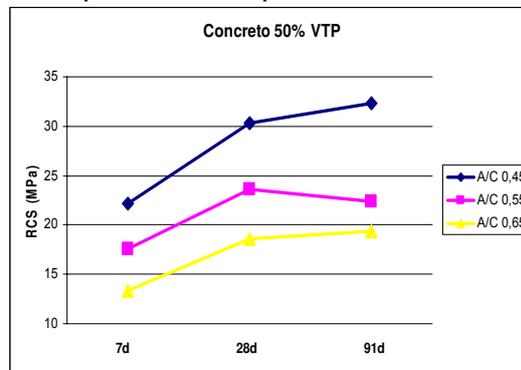
Os gráficos das Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 ilustram a evolução da resistência à compressão simples em relação à idade de cura.

Figura 4.1 – Resistências a Compressão Simples / Concreto com 0% de VPT



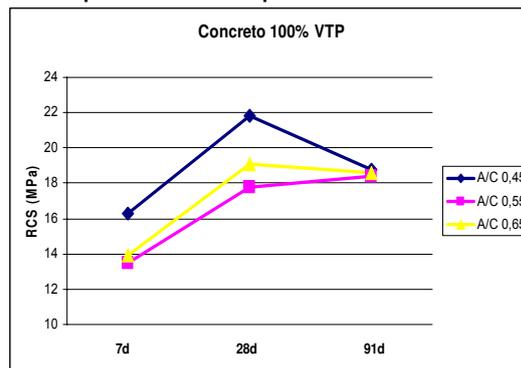
Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 4.2 – Resistências a Compressão Simples / Concreto com 50% de VPT



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 4.3 – Resistências a Compressão Simples / Concreto com 100% de VPT



Fonte: Elaborado pelo Autor

Os resultados dos ensaios de resistência a compressão simples demonstram que para a relação água/cimento de 0,45 registrou-se maiores valores de RCS. Para essa relação água/cimento (a/c) traço 1:1,20:0,90:0,9:0,45 (50% de vidro) aos 28 e 91 de cura superou os valores de RCS, em relação ao concreto de referência, em 7,6% e 4%, respectivamente. Isso implica que das relações a/c utilizadas a mais

adequada é a de 0,45, pois para as a/c de 0,55 e 0,65, embora mantendo valores compatíveis de RCS, comparados ao do concreto de referência foi registrada ligeira flutuação nos valores entre os 28 e 91 dias de ensaio, conforme Tabela 4.3.

Do mesmo modo que para a relação água/cimento (a/c) 0,55, os concretos de a/c de 0,65 demonstraram-se ainda mais afetados pelo aumento da água o que acarreta a perda mais considerável da consistência demonstrada pelo abatimento em tronco de cone. Conforme Tabela 4.3, entre as a/c de 0,45 para 0,65, para o concreto de referência ocorreu uma queda de resistência em 34%. Isso denota que para aplicações em concreto estrutural a relação a/c mais adequada é a de 0,45, contudo os outros concretos podem ser aplicados em elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras com concreto lançado por bombeamento e ainda elementos com grandes dimensões com lançamento por meio de caçambas.

Já para o concreto de 50% de vidro a queda de resistência mecânica foi ainda maior, correspondendo a 41%. Para o concreto de percentual 100% de vidro a variação negativa foi de apenas 1,6%, contudo a resistência à compressão de um modo geral para essa variante do concreto foi bem inferior aos demais, o que dá o indício do dano à resistência do concreto que o excesso de água causa.

As classes de resistência dos concretos obtidos, segundo a ABNT NBR 8953/2009, constam na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Classificação da resistência dos concretos aos 28 dias segundo a ABNT NBR 8953/2009

Traço	A/C	Resistência a compressão simples (MPa)	Classe de Resistência	Tipo de concreto
Referência 1:1,20:1,80:0,00A/C	0,45	28,0	≥ C25	Estrutural do grupo I
	0,55	24,0	≥ C20	Estrutural do grupo I
	0,65	22,3	≥ C20	Estrutural do grupo I
50% vidro 1:1,20:0,90:0,9:A/C	0,45	30,3	≥ C30	Estrutural do grupo I
	0,55	23,6	≥ C20	Estrutural do grupo I
	0,65	18,6	≥ C15	Não estrutural
100% vidro 1:1,20:0,00:1,80:A/C	0,45	21,8	≥ C20	Estrutural do grupo I
	0,55	17,8	≥ C15	Não estrutural
	0,65	19,1	≥ C15	Não estrutural

Fonte: Elaborado pelo autor (2014)

Após os ensaios de resistência à compressão simples (RCS), foi empreendido o estudo qualitativo dos aspectos morfológicos e de fratura mediante microscopia óptica digital USB para os concretos produzidos.

4.4. Caracterização microestrutural

4.4.1 Microscopia ótico-digital USB

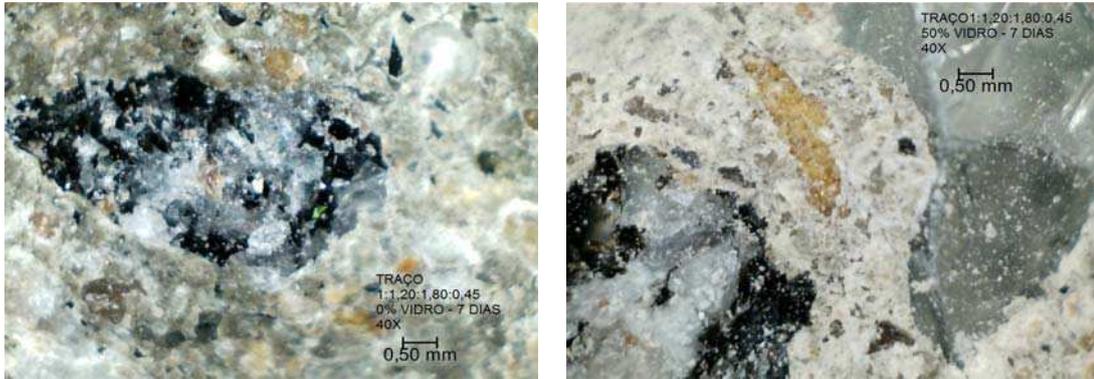
Para cada percentual de substituição e idade de ruptura por compressão simples, procedeu-se análises micrográficas, com caráter qualitativo, por tratar-se de análises de imagens. Os aspectos quantitativos da análise se restringiram, então, aos incrementos de magnificação e referência métrica obtidos nas micrografias.

Os resultados obtidos correspondem aos aspectos morfológicos do composto cimentício, das análises de fraturas e interfaces vidro pasta cimentícia, como expostos na sequência de Figuras seguintes.

4.4.1.1 Concreto 1:1,20:1,80:0,45

As micrografias (a), (b) e (c) da Figura 4.4 demonstram os aspectos morfológicos das superfícies de fraturas dos concretos de referência, de 50 e 100 % de vidro, respectivamente, rompidos após 7 dias de cura para a relação água/cimento (a/c) de 0,45.

Figura 4.4 - Aspecto morfológico da superfície de fratura do concreto 1:1,20:1,80:0,45 – idade 7 dias – 40X



(a) 0% vidro- a/c 0,45 – 7 d

(b) 50% vidro- a/c 0,45 – 7 d



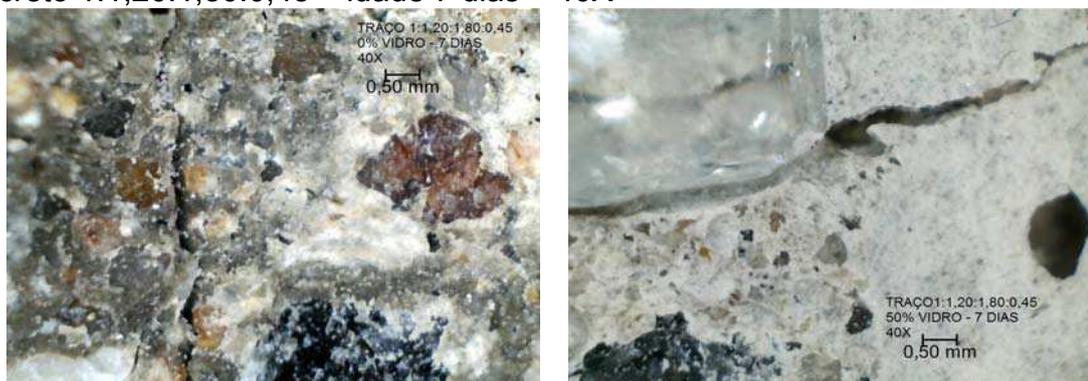
(c) 100% vidro- a/c 0,45 – 7 d

Fonte: Arquivo do autor (2013)

Observa-se nessas micrografias aspecto regular na morfologia do concreto rompido por compressão simples. Nota-se, ainda, a interface agregado grânulos de vidro/argamassa bem preservada nas micrografias (b) e (c). Esse fato é indício de que não ocorreu incompatibilidade entre agregado de vidro temperado e pasta cimentícia.

Do mesmo modo, as micrografias da Figura 4.5, com ampliação de 40 vezes, demonstram o comportamento das trincas de fraturas, formadas durante o ensaio dos corpos de prova.

Figura 4.5 - Aspecto morfológico da trinca de fratura por compressão simples do concreto 1:1,20:1,80:0,45 – idade 7 dias – 40X



(a) 0% vidro- a/c 0,45 – 7 d

(b) 50% vidro- a/c 0,45 – 7 d



(c) 100% vidro- a/c 0,45 – 7 d

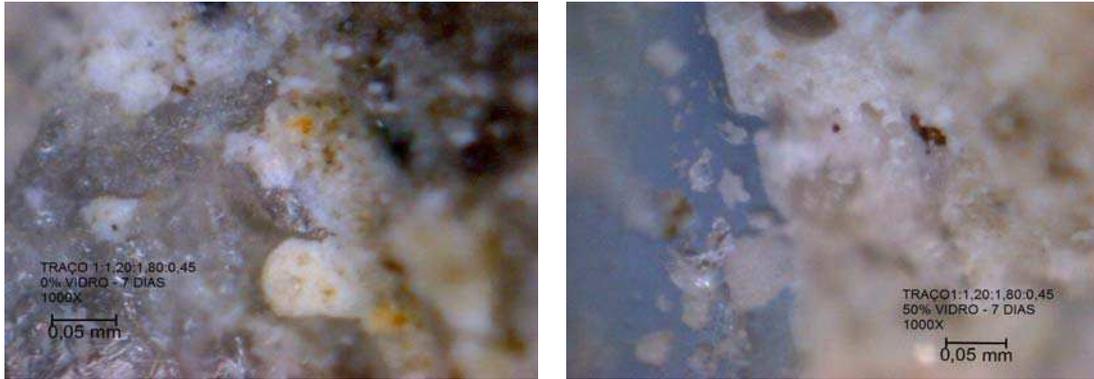
Fonte: Arquivo do autor (2013)

Nota-se, nas micrografias (b) e (c) da Figura 4.5, que o contorno do grânulo de vidro mesmo próximo da trinca de fratura não se apresenta estilhaçado. Observa-se ainda, que o grânulo de vidro da micrografia (b) foi seccionada transversalmente, onde nota-se o brilho da superfície de fratura sem resíduos, contrastando com a superfície de fratura do grânulo de vidro, com superfície desgastada, apresentado na micrografia (c), o que indica que houve uma boa aderência entre a pasta cimentícia e agregado de vidro na região de transição ou interface.

As micrografias apresentadas na Figura 4.5, ainda, nos traz o registro da semelhança na morfologia dos concretos com e sem vidro. Desse modo, pondera-se que mesmo no processo de formação da trinca de ruptura por compressão, geralmente iniciadas nas interfaces pasta/agregados, dos concretos com 50% e 100% de percentual de substituição, a interface vidro/pasta, nas regiões circunvizinhas, pode ser bem preservada, indício de boa resiliência.

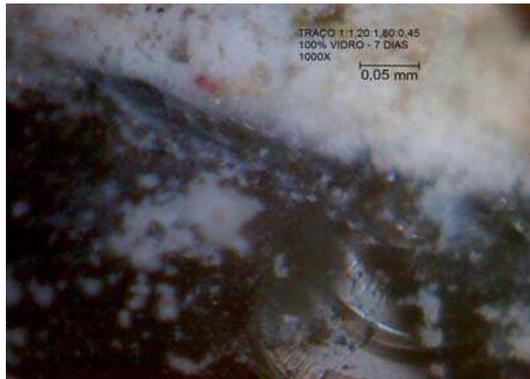
As micrografias da Figura 4.6 possuem uma magnificação de 1000X e possibilitam visualizar detalhes da interface agregado gráudo/pasta nos concretos de 0, 50 e 100% de vidro à idade de 7 dias de hidratação.

Figura 4.6 - Aspecto morfológico da superfície de fratura por compressão simples do concreto 1:1,20:1,80:0,45 – idade 7 dias –1000X



(a) 0% vidro- a/c 0,45 – 7 d

(b) 50% vidro- a/c 0,45 – 7 d



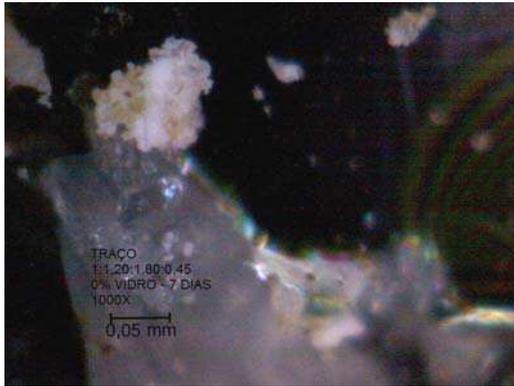
(c) 100% vidro- a/c 0,45 – 7 d

Fonte: Arquivo do autor (2013)

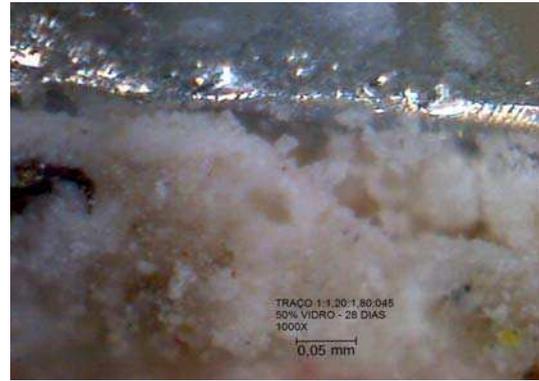
Observando-se as micrografias da Figura 4,6 (b) e (c) a uma magnitude de 1000 vezes, para a idade de cura de 7 dias já se pode observar a perfeita adesão entre o agregado vítreo e a pasta cimentícia.

Para a idade de 28 dias de hidratação do concreto, apresenta-se as micrografias da Figura 4.7 com magnificação de 1000X.

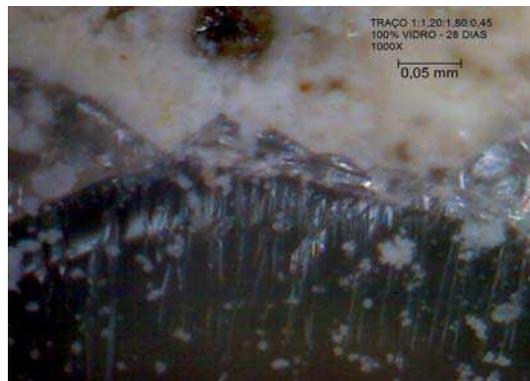
Figura 4.7 – Aspecto morfológico da fratura por compressão simples do concreto 1:1,20:1,80:0,45 – idade 28 dias –1000X



(a) 0% vidro- a/c 0,45 – 28 d



(b) 50% vidro- a/c 0,45 – 28 d



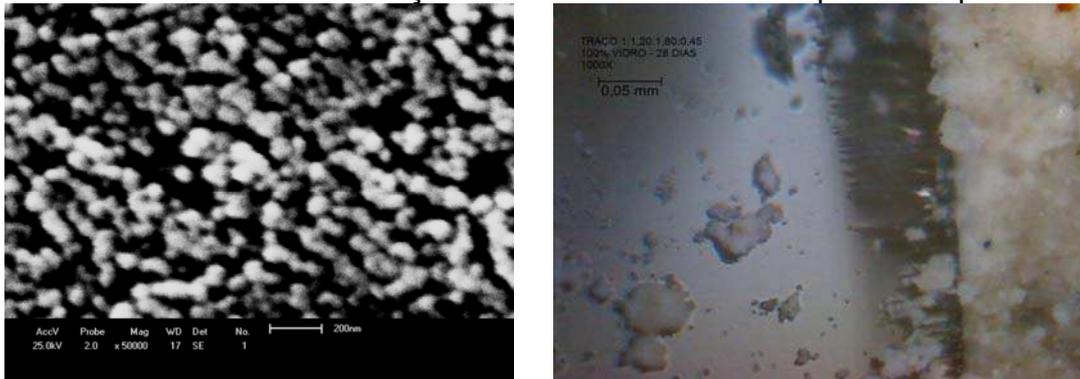
(c) 100% vidro- a/c 0,45 – 28 d

Fonte: Arquivo do autor (2013)

Com a ampliação de 1000 vezes, para a idade de cura de 28 dias pode-se observar a perfeita adesão entre o agregado vítreo e a pasta cimentícia. Nota-se ainda, a formação de cristais de hidratação de forma mais intensa e evidente sobre o vidro do que sobre a brita ao comparar-se a micrografia (a) com as micrografias (b) e (c), constantes na Figura 4.7. Nota-se ainda, pequenas formações de cristais de hidratação nas irregularidades ou ranhuras de desgastes da superfície original da placa de vidro na micrografia (c) em contraste com a superfície de fratura do grânulo de vidro na micrografia (b).

Corroborando com o que foi exposto por Shiver e Atkins (2008), na seção 3.2.5, os vazios ou interstícios do vidro, registrados na micrografia (a) da Figura 4.8, podem ser preenchidos pelos hidratos que compõem o gel formado com a hidratação do cimento, conforme se observa, por contraste, na micrografia (b).

Figura 4.8 – Atividade de hidratação nos interstícios no vidro plano temperado



(a) VPT - MEV 50.000X

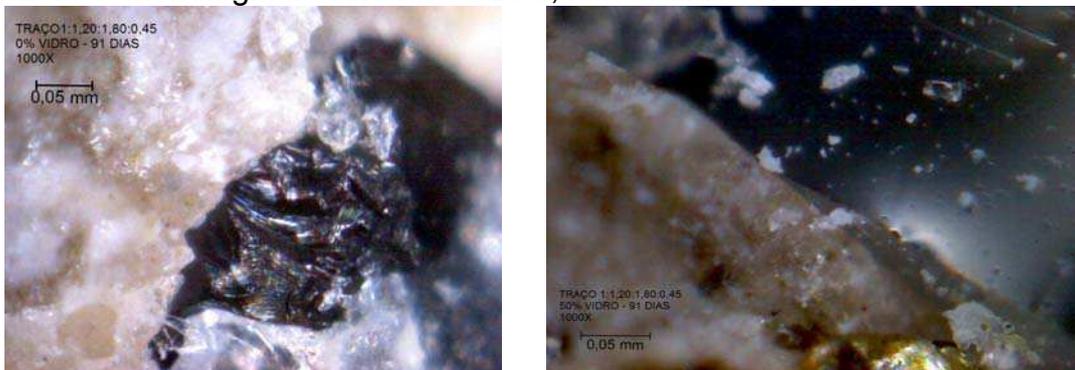
(b) Interface vidro/pasta – MOD 1000X - 28 dias

Fonte: Arquivo do autor (2013)

O processo de hidratação nos interstícios do vidro plano temperado, aos 28 dias, pode ser percebido ao se observar a micrografia (b) da Figura 4,8, através da mudança de contraste em sua superfície. Nota-se que ocorreu atividade de hidratação com profundidade de aproximadamente 70 μm .

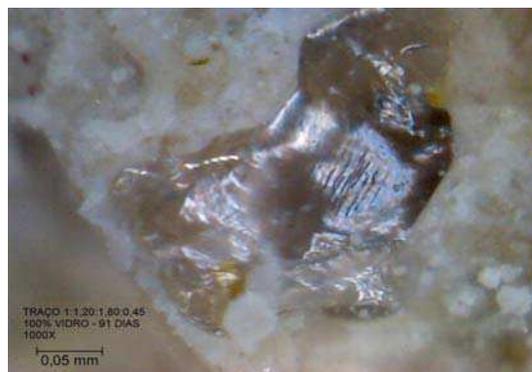
Os aspectos morfológicos de fratura dos concretos produzidos aos 91 dias de hidratação são apresentados na Figura 4.9.

Figura 4.9 – Morfologia do concreto - a/c 0,45 - 91 dias – 1000X



(a) 0% vidro – 91 d

(b) 50% vidro – 91 d



(c) 100% vidro – 91 d

Fonte: Arquivo do autor (2013)

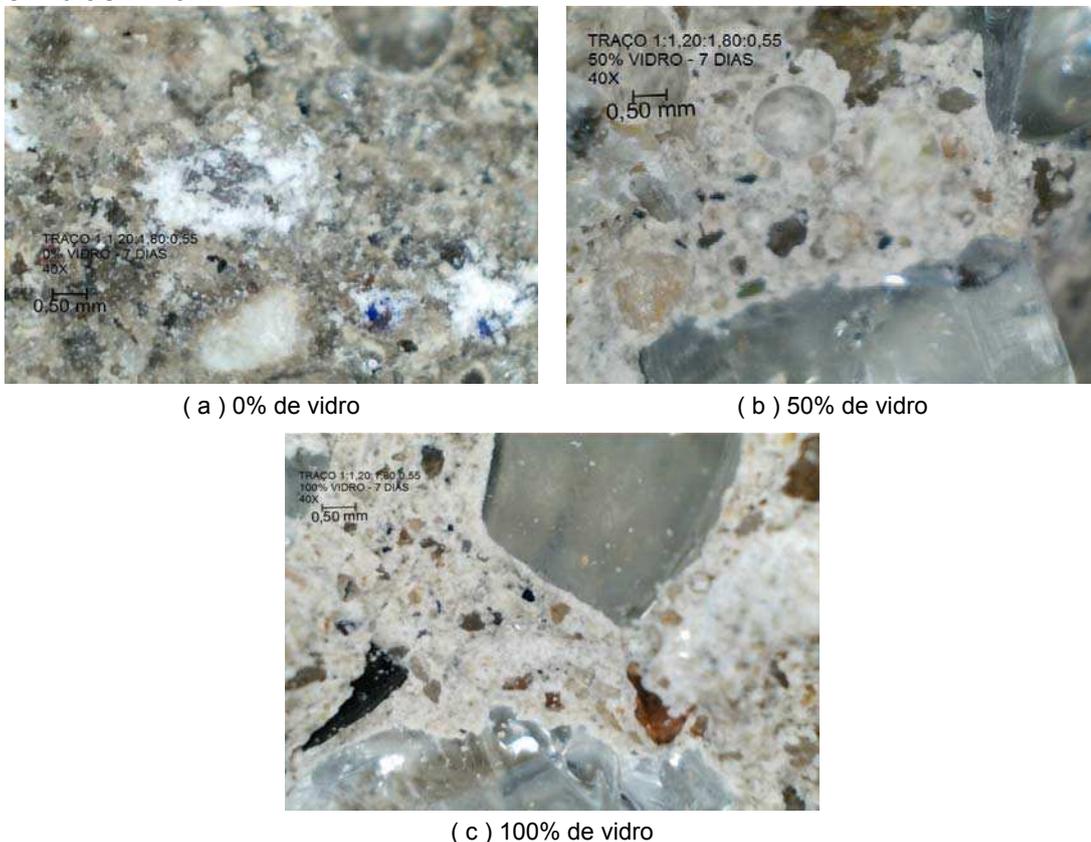
Para a idade de hidratação de 91 dias as micrografias da Figura 4.9, com um nível de atividade de cristalização mais efetiva que nas idades menores, pode-se perceber a grande semelhança no aspecto morfológico dos concretos sem e com agregado graúdo de vidro plano temperado.

A adesão da pasta cimentícia sobre o agregado graúdo de vidro é justificada por um processo de adesão molecular entre a sílica gel formada sobre a superfície dos grânulos de vidro e os cristais de hidratação formados durante a cura do concreto, propiciando uma interface mecanicamente estável. O mesmo processo ocorre com a pedra britada composta basicamente por Óxido de Silício.

4.4.1.2 Concreto 1:1,20:1,80:0,55

Adotando a mesma analogia para os traços com a/c de 0,45 nas micrografia (a), (b) e (c) da Figura 4.10, observa-se os aspectos morfológicos das fraturas dos concretos sem vidro, com 50% e 100 % de vidro plano temperado, respectivamente, rompidos após 7 dias de cura para a relação água/cimento (a/c) de 0,55.

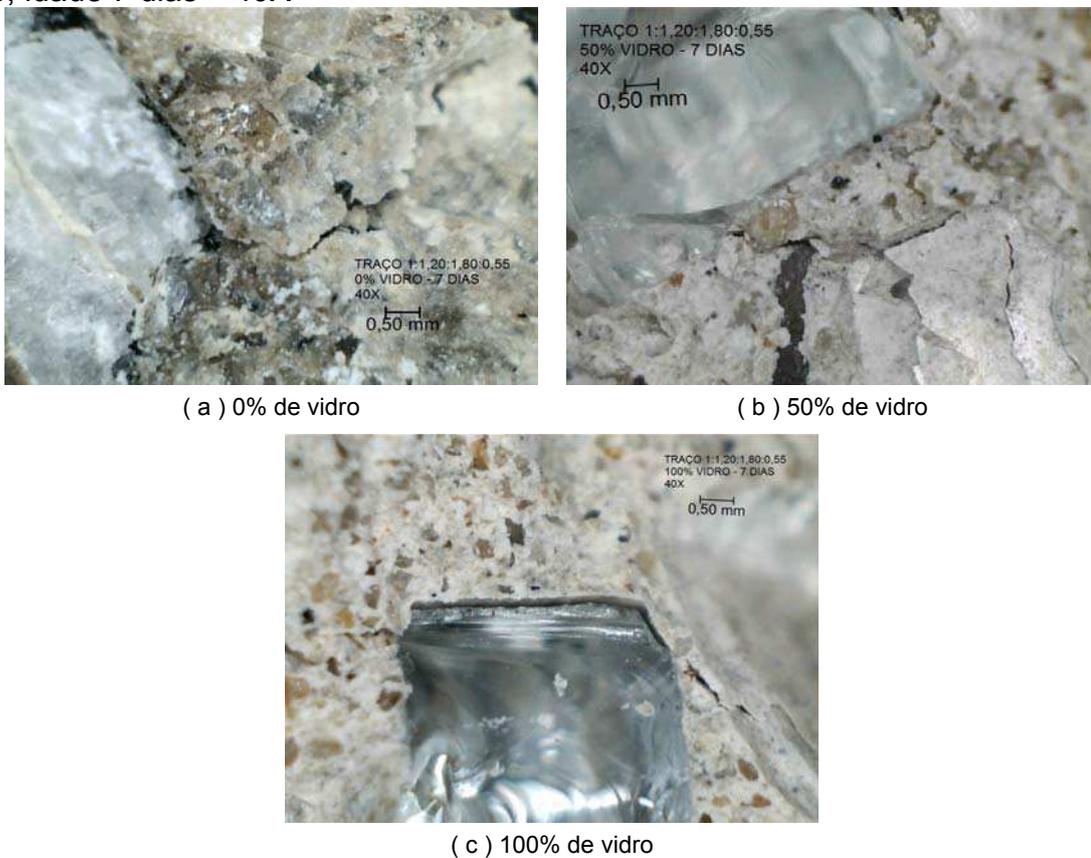
Figura 4.10 - Aspecto morfológico da fratura por compressão simples – a/c 0,55; idade 7 dias – 40X



Observa-se nessas micrografias um aspecto morfológico semelhante aos concretos de traço com a/c 0,45, contudo nota-se uma menor ocorrência de cristais de hidratação, conforme contraste com as micrografias da Figura 4.4.

Já em relação às trincas causadas com a ruptura por compressão a matriz cimentícia do concreto com a/c 0,55 demonstra aspecto mais fragmentado do que para a a/c de 0,45, como se observa nas micrografias (a), (b) e (c) da Figura 4.11.

Figura 4.11 - Aspecto morfológico da trinca de fratura por compressão simples – a/c 0,55; idade 7 dias – 40X



Fonte: Arquivo do autor (2013)

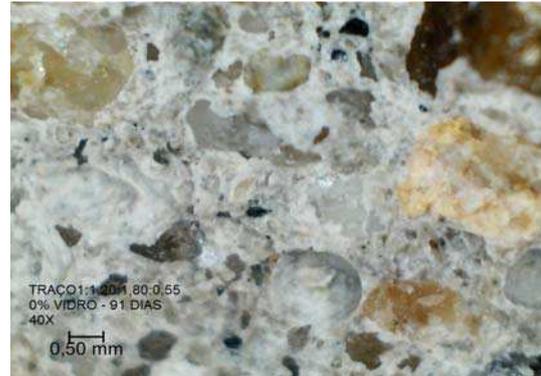
O aspecto mais fragmentado para o concreto com a/c 0,55 é justificado pela queda da resistência a compressão com o aumento da relação a/c nos três percentuais de substituição do concreto, conforme Tabela 4.4 na seção 4.3.

Para as demais idades do concretos com relação a/c 0,55 também se observa um baixo nível de atividade de cristalização na hidratação do concreto em comparação aos concretos de a/c 0,45, conforme a sequência de micrografias (a) a (f) da Figura 4.12.

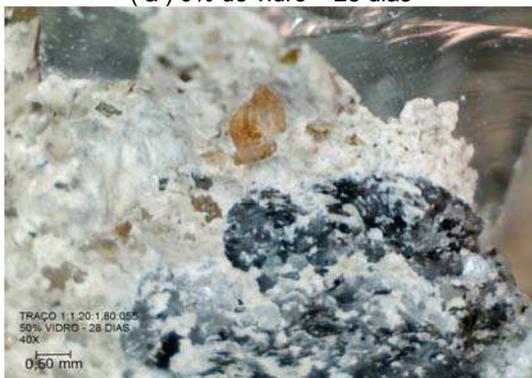
Figura 4.12 - Aspecto morfológico da fratura por compressão simples – a/c 0,55; idade 28 e 91 dias – 40X



(a) 0% de vidro – 28 dias



(b) 0% de vidro – 91 dias



(c) 50% de vidro – 28 dias



(d) 50% de vidro – 91 dias



(e) 100% de vidro – 28 dias



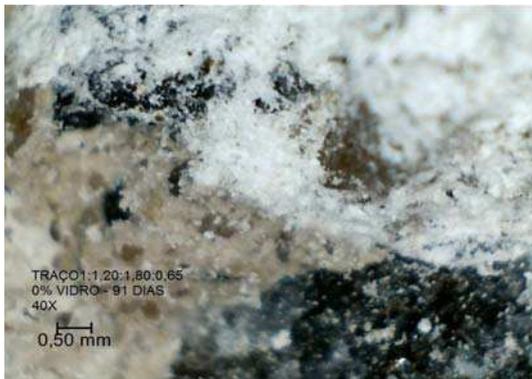
(f) 100% de vidro – 91 dias

Fonte: Arquivo do autor (2013)

4.4.1.3 Concreto 1:1,20:1,80:0,65

As micrografias (a) a (f) da Figura 4.13 com magnificação de 40X e 1000X, representam os concretos com a/c 0,65.

Figura 4.13 - Aspecto morfológico da fratura por compressão simples – a/c 0,65; idade 91 dias – 40X e 1000X



(a) 0% de vidro – 91 dias – 40X



(b) 50% de vidro – 91 dias – 40X



(c) 100% de vidro - 91 dias – 40X



(d) 0% de vidro - 91 dias – 1000X



(e) 50% de vidro - 91 dias – 1000X



(f) 100% de vidro - 91 dias – 1000X

Fonte: Arquivo do autor (2013)

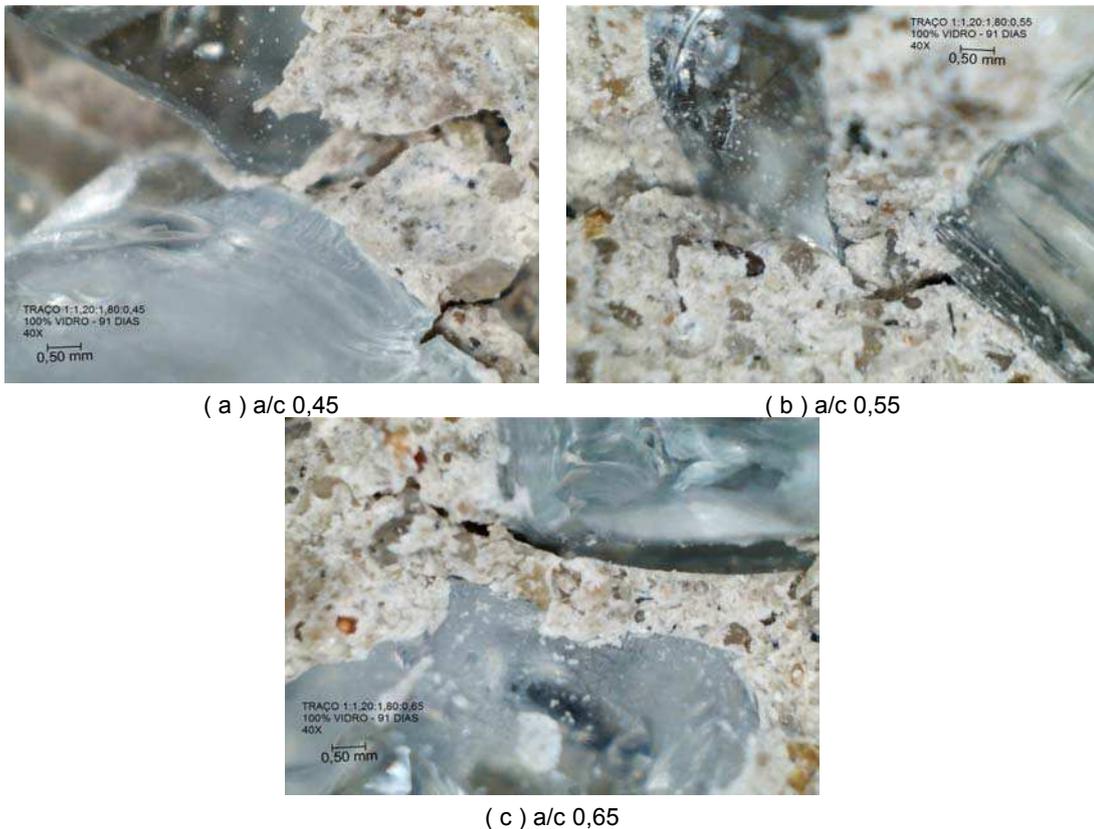
Nessas micrografias observa-se visível redução da atividade de cristalização em relação aos concretos com a/c 0,45 e 0,55. O fato da queda de resistência para maiores relações a/c se dá por conta da formação de hidróxidos de cálcio em detrimento da formação de silicatos de cálcio hidratados.

O ganho de resistência com a idade de hidratação se dá principalmente com o crescimento dos cristais de silicato de cálcio hidratado. No caso do excesso de água devido uma maior a/c , esse cristais, tendo uma menor adesão aos agregados, são responsáveis por prejuízos das propriedades mecânicas, além da formação de micro fissuras.

O fato da tendência ao aumento de trincas pode ser evidenciado na sequência de micrografias da Figura 4.14. Note-se que a ocorrência da trinca para a micrografia (a) se localiza na pasta enquanto que nas micrografias (b) e (c) se dá na interface pasta /agregado de vidro.

A Figura 4.14 apresenta a formação de trincas para as diferentes relações água/ cimento (a/c) à idade de hidratação de 91 dias para os concretos com formulação de 100% de vidro plano temperado.

Figura 4.14 - Formação de trincas para diferentes a/c - concreto com 100% de vidro – 91 dias – 40X



Fonte: Arquivo do autor (2013)

O fato da queda de resistência principalmente para o percentual de substituição 100% é também justificada pelo fato de que a adesão se dá mais

intensamente entre vidro e silicato de cálcio do que entre vidro e hidróxido de cálcio, formado como consequência do excesso de água no concreto.

4.4.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Desagregou-se uma pequena parte dos agregados graúdos, dos quais foram selecionadas amostras, contendo pasta aderida, para serem analisadas com MEV, conforme Figura 4.15 (a) e (b), correspondendo ao vidro e à brita, respectivamente.

Figura 4.15 - Agregado graúdo - produto da desagregação da pasta cimentícia – 50% de vidro – 91 dias



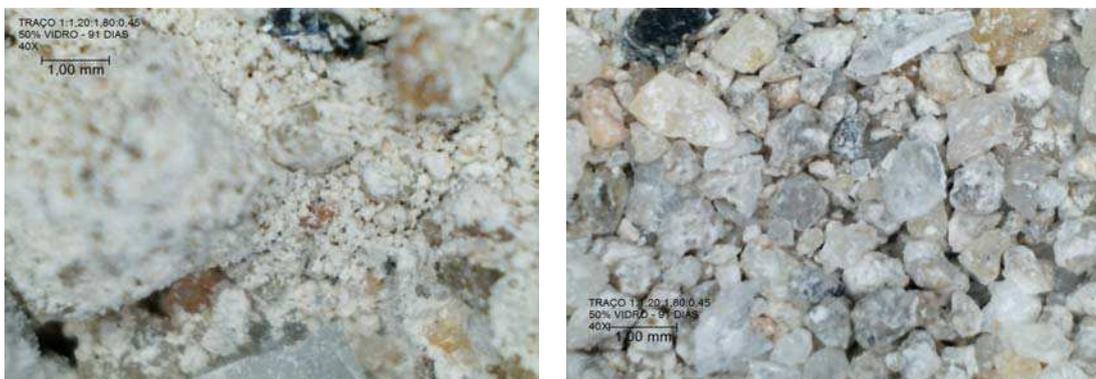
(a) Vidro plano temperado

(b) brita

Fonte: Arquivo do autor (2013)

Após a retirada das amostras do agregado graúdo para análise em MEV, o conteúdo foi desagregado em almofariz, conforme Figura 4.16 (a), e passado em malha 16 ASTM, com 1,18 mm de abertura, conforme Figura 4.16 (b).

Figura 4.16 - Produtos da desagregação da pasta cimentícia – 50% de vidro – 91 dias



(a) Antes da peneira 16 ASTM

(b) Após peneira ASTM 16

Fonte: Arquivo do autor (2013)

O material que passou nessa etapa, correspondendo à Figura 4.16 (b), foi submetido à ação de almofariz e pistilo, através de movimentos circulares. Nota-se que após peneiramento em malha 200 ASTM com abertura de 75 μm , o produto corresponde aos produtos da cristalização do cimento Portland, isento do agregado miúdo, conforme Figura 4.17.

Figura 4.17 - Pasta cimentícia desagregada e peneirada em malha ASTM 200 – 50% de vidro – 91 dias



Fonte: Arquivo do autor (2013)

Objetivando a observação da evolução do nível de formação dos cristais de hidratação nos concretos em estudo com percentuais de substituição de brita 0 por vidro plano temperado de 50% e 100%, relação água/cimento (a/c) 0,45, 0,55 e 0,65 e idades de cura de 7, 28 e 91 dias, obteve-se imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura, com ampliações de 3000X e 6000X, corroborando com as informações obtidas através das imagens obtidas por Microscopia Óptica Digital.

As baixas ampliações adotadas para MEV, proporcionam imagens de campo mais amplas, compatíveis com às obtidas *in loco* por microscopia óptica, diretamente sobre os agregados graúdos desagregados da pasta cimentícia para esse fim.

Outro aspecto a ser considerado foi que as amostras para as duas modalidades de microscopia por terem sido obtidas sem qualquer tratamento mecânico de corte, lixamento ou polimento apresentam relevos irregulares o que influencia na dificuldade de obtenção de imagens mais nítidas, pois ao se focar um detalhe, produz-se a desfocagem de outras regiões próximas, contudo, para o objetivo de se mensurar qualitativamente o nível de hidratação na região de interface da pasta cimentícia/agregado o procedimento foi adequado, haja vista, a riqueza de detalhes obtidos nas diversas imagens.

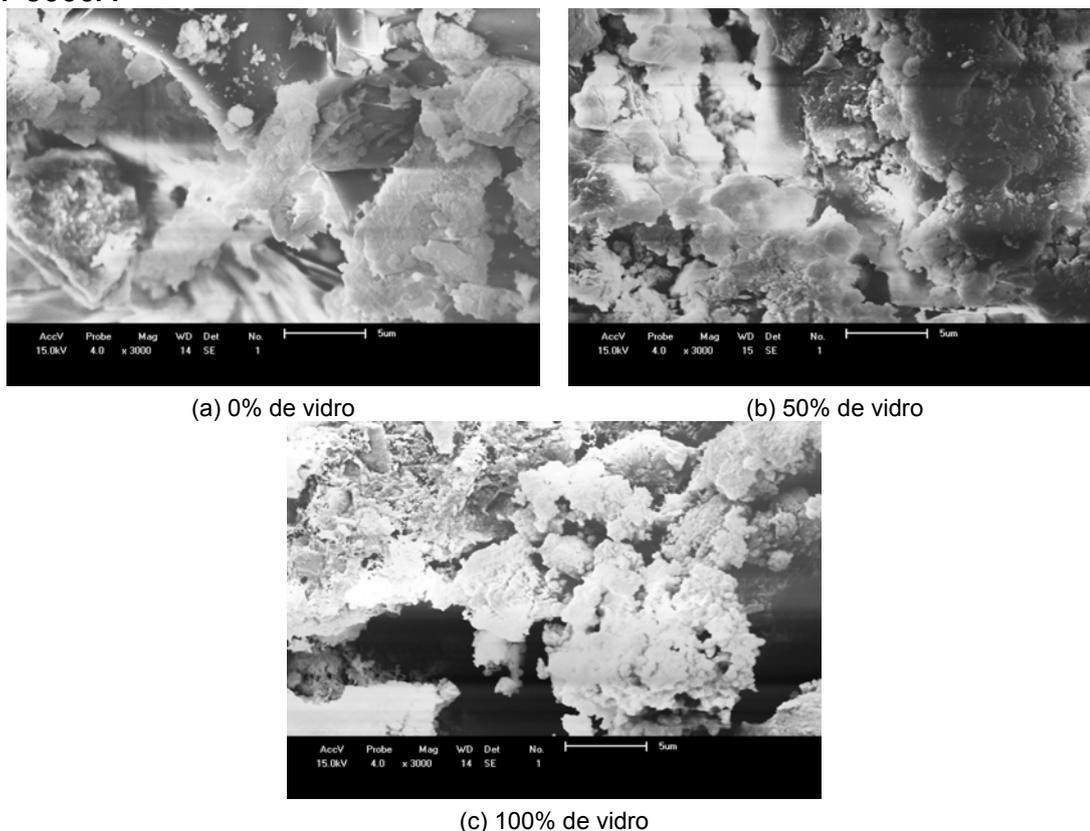
As micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) registraram a ocorrência da formação de cristais de hidratação do clínquer de cimento Portland sobre os agregados graúdos, compostos por pedra britada ou cacos de vidro plano temperado, segundo os valores intervenientes, selecionados após fratura por compressão simples.

4.4.2.1 Concretos com relação água/cimento (a/c) 0,45

As micrografias das Figuras 4.18 a 4.23, obtidas por MEV, demonstram o comportamento do processo de formação dos cristais de hidratação para os concretos com 0%, 50% e 100% de vidro nas idades de 7, 28 e 91 dias com relação água/cimento 0,45.

As micrografias (a), (b) e (c) da Figura 4.18 apresentam o aspecto morfológico da fratura para os diferentes percentuais de elaboração dos concretos, para a/c 0,45 à idade de 7 dias de cura, a uma ampliação de 3000X, através de microscopia eletrônica de varredura.

Figura 4.18 - Aspecto morfológico da fratura do concreto – a/c 0,45; idades 7 dias – MEV 3000X



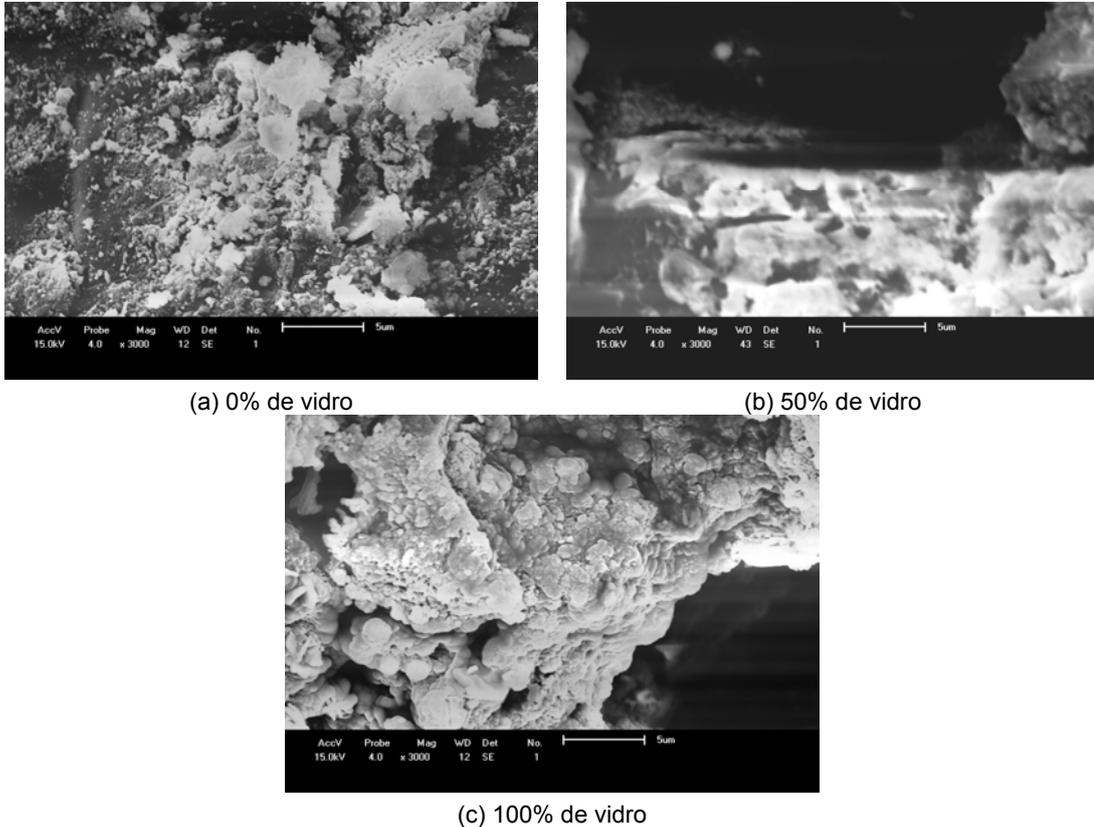
Fonte: Arquivo do autor (2013)

Observa-se nessas micrografias o nível de cristalização ainda incipiente, caracterizado por descontinuidades, responsáveis pelos baixos índices de resistência à compressão simples nos concretos em processo inicial de cura. Nessa fase ocorre a predominância de placas de cristais de hidróxido de cálcio, ou portlandita, representado por CH, micrografias (a) e (b), e ainda, a presença, mais rarefeita, de silicato de cálcio hidratado, formando aglomerado de cristais de formas variadas e dentre esses cristais de etringita de forma acicular, conforme se observa nas micrografias (b) e (c).

Nota-se, finalmente, que a medida que o percentual de vidro aumenta, ocorre maior formação de silicatos de cálcio hidratado (CSH), dessa forma ocorre uma maior predominância de CH no concreto com 0% de vidro e, em contra partida, CSH no concreto com 100% de vidro em substituição à pedra britada.

A Figura 4.19 refere-se aos concretos a 0%, 50% e 100% de vidro, com relação água/cimento de 0,45 e idade de 28 dias.

Figura 4.19 - Aspecto morfológico da fratura para concreto a 0%, 50% e 100% de vidro – a/c 0,45; idades 28 dias – MEV 3000X

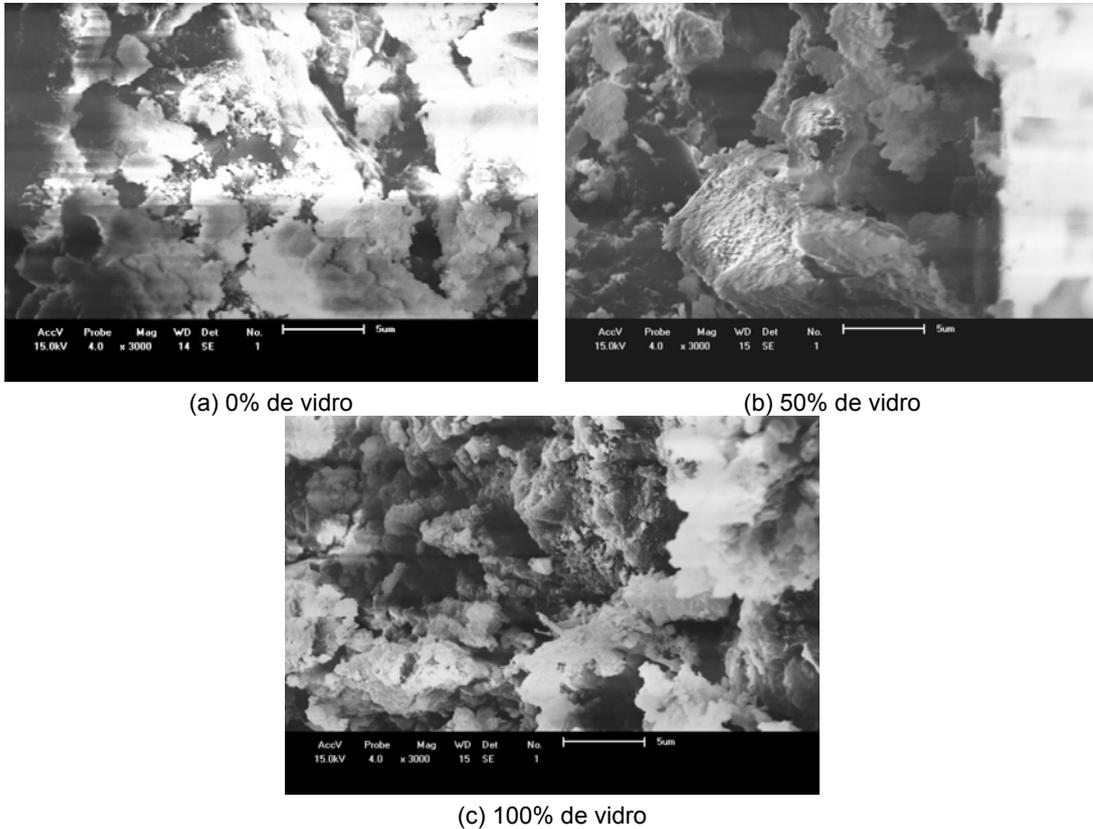


Fonte: Arquivo do autor (2013)

Nessa etapa, aos 28 dias de hidratação, verifica-se a predominância de cristais de silicato de cálcio hidratado dispostos sobre a brita, na micrografia (a) da Figura 4.19, e sobre grânulos de vidro, nas micrografias (b) e (c) da mesma Figura. Nota-se nessas micrografias um maior adensamento de cristais de hidratação sobre o vidro do que sobre a pedra britada, evidenciando um maior nível de adesão. Observa-se ainda que na micrografia (a) e (b) registra-se a ocorrência de Portlandita (CH), enquanto que na micrografia (c) predomina a ocorrência de cristais de silicato de cálcio hidratado, inclusive etringita, na parte inferior direita.

A Figura 4.20 refere-se às três composições do concreto com relação água/cimento de 0,45 aos 91 dias de hidratação a uma magnificência de 3000X.

Figura 4.20 - Aspecto morfológico da fratura para concreto a 0%, 50% e 100% de vidro – a/c 0,45; idades 91 dias – MEV 3000X

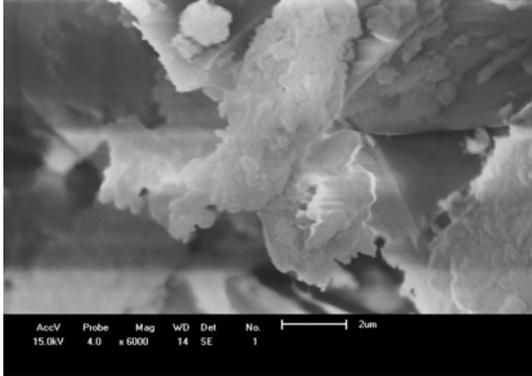


Fonte: Arquivo do autor (2013)

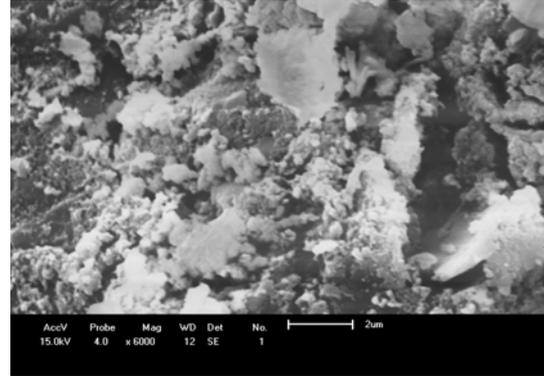
Observa-se que na idade de 91 dias de hidratação os cristais, compostos, quase que integralmente, por silicatos de cálcio hidratado (CSH) promovem uma cobertura mais intensa sobre o agregado, não ficando evidenciadas diferenças significativas entre os aspectos morfológicos das interfaces referentes à brita e ao vidro. Observa-se, no entanto, que para o percentual de substituição de 100% de brita por vidro, ocorre maior formação de cristais de Etringita, de forma acicular, registrados na parte central da micrografia (c).

A Figura 4.21 refere-se aos três percentuais de substituição do concreto com relação água/cimento de 0,45 aos 28 dias de hidratação a uma magnificência de 6000X.

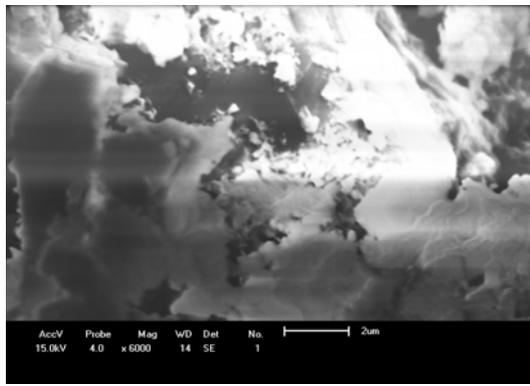
Figura 4.21 - Aspecto morfológico da fratura para concreto a 0%, 50% e 100% de vidro – a/c 0,45; idade 28 dias – MEV 6000X



(a) 0% de vidro



(b) 50% de vidro



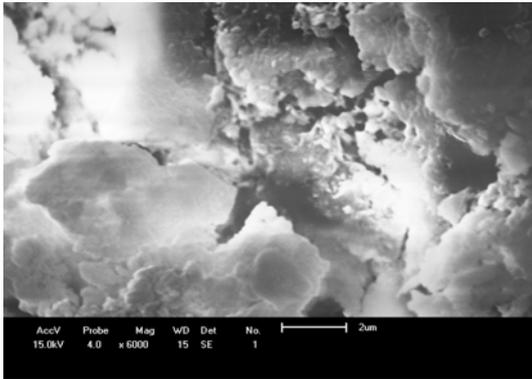
(c) 100% de vidro

Fonte: Arquivo do autor (2013)

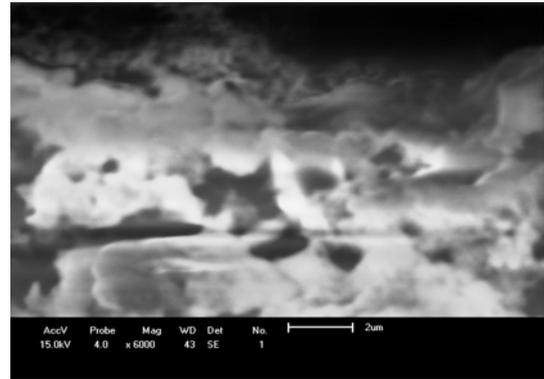
Podem-se observar nessas micrografias os cristais de hidratação se projetando a partir do agregado graúdo de pedra britada. Nota-se na micrografia (a) cristais mais dispersos em uma forma aérea, enquanto que nas micrografias (b) e (c) uma disposição mais adensada.

A Figura 4.22 refere-se às amostras de concreto a 50% de vidro e a/c 0,45 nas idades 7, 28 e 91 dias com uma ampliação de 6000X.

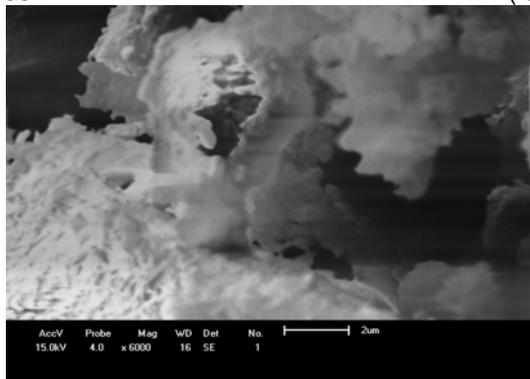
Figura 4.22 - Aspecto morfológico da fratura para concreto a 50% de vidro – a/c 0,45; idades 7, 28 e 91 dias – MEV 6000X



(a) 7 dias



(b) 28 dias



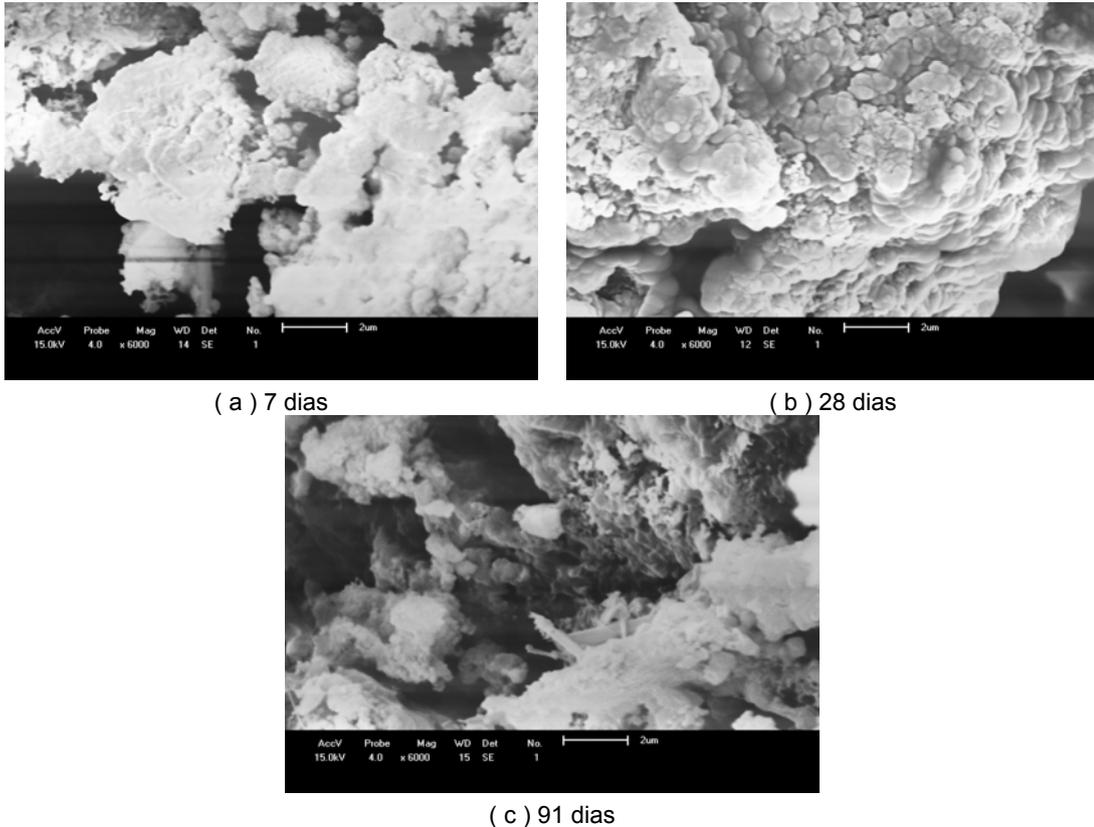
(c) 91 dias

Fonte: Arquivo do autor (2013)

Estas micrografias ilustram a evolução da formação dos cristais de hidratação sobre a base vítrea nas idades de 7, 28 e 91 dias de hidratação, correspondentes aos concretos de 50% de vidro plano temperado. A micrografia (a), referente a 7 dias, registra a presença de cristais de hidróxido de cálcio dispostos na forma de placas enquanto que nas micrografias (b) e (c) cristais de forma mais adensada e complexa, denotando tratar-se de cristais de silicato de cálcio hidratado, de forma mais complexas, a exemplo de rugas e agulhas.

A figura 4.23 refere-se às amostras de concreto a 100% de vidro e a/c 0,45 nas idades 7, 28 e 91 dias com uma ampliação de 6000X.

Figura 4.23 - Aspecto morfológico da fratura para concreto a 100% de vidro – a/c 0,45; idades 7, 28 e 91 dias – MEV 6000X



Fonte: Arquivo do autor (2013)

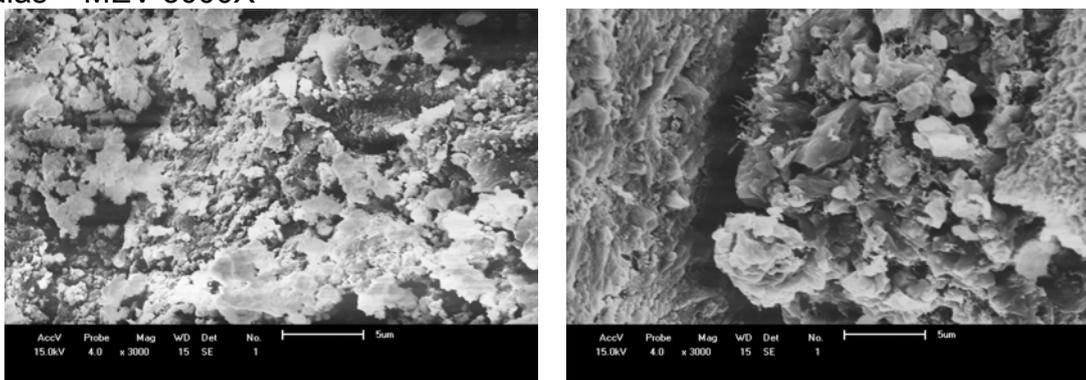
Na micrografia (a) de concreto com 100% de vidro como agregado graúdo aos 7 dias de hidratação, contrastando com as micrografias (b) e (c), referentes aos concretos de 100% de vidro aos 28 e 91 respectivamente, que evidenciam aflorações cristalinas tridimensionais ao invés dos cristais na forma de placa. Essa atividade de cristalização se caracteriza por um maior adensamento à idade de 28 dias de hidratação (micrografia b). Aos 91 dias se observa cristais tridimensionais com forma mais complexa, inclusive a forma acicular ao centro da micrografia (c) da Figura 4.23.

Vale ponderar que o aumento da resistência mecânica para as idades de hidratação maiores se deve a um maior adensamento, complexidade de forma e entrelaçamento dos cristais formados no processo de hidratação da pasta cimentícia. É importante considerar que a adesão entre cristais de hidratação sobre os agregados usados como carga é fator de fundamental importância para a definição das propriedades mecânicas do concreto.

4.4.2.2 Concretos com relação água/cimento (a/c) 0,55

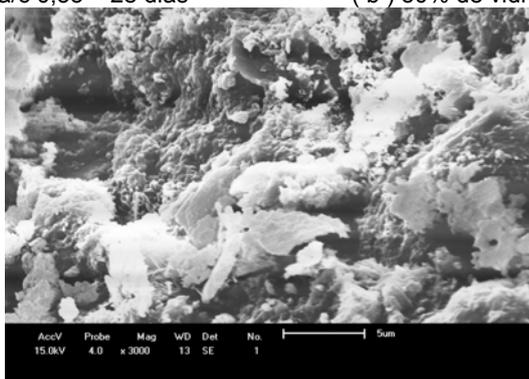
A Figura 4.24 apresenta concretos com relação água / cimento (a/c) 0,55 para a idade de 28 dias tomados como objetos principais de análise.

Figura 4.24 - Aspecto morfológico da fratura para concretos com a/c 0,55 à idade de 28 dias – MEV 3000X



(a) 0% de vidro – a/c 0,55 – 28 dias

(b) 50% de vidro - a/c 0,55 – 28 dias



(c) 100% de vidro - a/c 0,55 – 28 dias

Fonte: Arquivo do autor (2013)

A micrografia (a) da Figura 4.24 corresponde ao concreto de 0% de vidro plano temperado (referência) com a/c 0,55 à idade de 28 dias de hidratação. Nota-se nessa micrografia um menor adensamento de cristais de hidratação sobre a brita em contraste com o que ocorre nas micrografias (b) e (c), referentes aos percentuais de 50% e 100% de vidro, nas quais o agregado analisado foi o caco de vidro plano temperado.

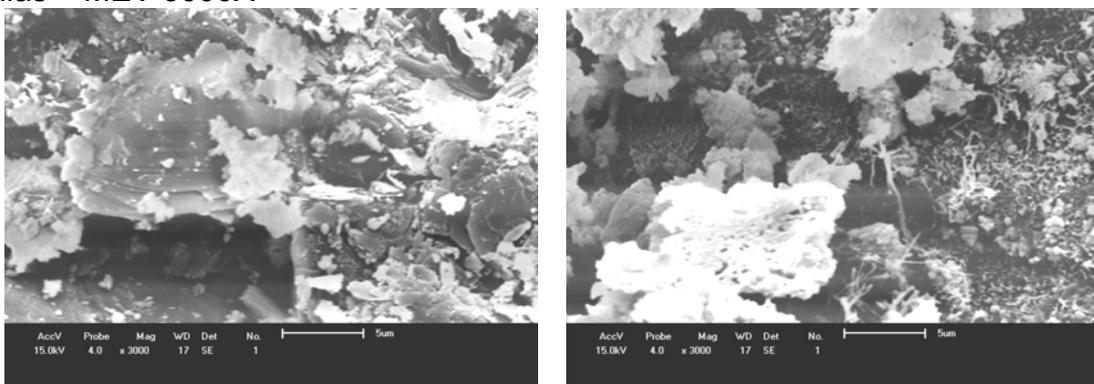
Na micrografia (c) da Figura 4.24, referente ao percentual de substituição de 100% registrou-se a presença mais evidente de cristais CH, com dimensões visivelmente maiores em contraste com os cristais de CSH, predominantes nas micrografias (a) e (b). Isso se justifica devido ao fato que o concreto com maior percentual de vidro é mais higroscópico. Isso reforça a necessidade de estudos mais

acurados da relação água/cimento para as diversas formulações de concreto com vidro plano temperado.

4.4.2.3 Concretos com relação água/cimento (a/c) 0,65

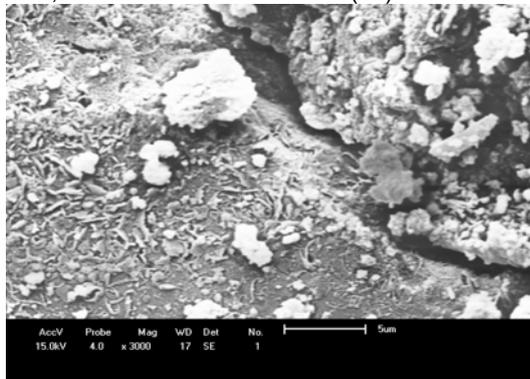
A Figura 4.25 apresenta concretos com relação água / cimento (A/C) 0,65 para a idade de 28 dias, também tomados como representativos dos demais valores intervenientes.

Figura 4.25 - Aspecto morfológico da fratura para concretos com a/c 0,65 à idade de 28 dias – MEV 3000X



(a) 0% de vidro – a/c 0,65 – 28 dias

(b) 50% de vidro – a/c 0,65 – 28 dias



(c) 100% de vidro – a/c 0,65 – 28 dias

Fonte: Arquivo do autor (2013)

Nessa análise para o concreto com 50% de percentual de substituição de brita 0 por cacos de vidro temperado plano temperado, observa-se uma morfologia regular semelhante ao concreto de referência com água / cimento 0,65 e idade de 28 dias, correspondentes às micrografias (b) e (a).

Para o concreto de mesma relação e idade com percentual de substituição de 100% registrou-se morfologia com cristais de hidratação mais rarefeitos em comparação com os concretos de referência e de 50% para a idade de 28. Este fato da menor adesão dos cristais de hidratação justifica a redução das propriedades

mecânicas de um modo geral. Além disso, a maior presença de carbonato de cálcio devido à quantidade de água excessiva contribui para esse fato.

Os produtos obtidos na etapa anterior foram cuidadosamente selecionados e identificados com o propósito de proceder-se uma caracterização minuciosa através de difração de raios X (DRX) e Microanálise por energia dispersiva EDX, com o propósito de analisar-se o nível de formação dos cristais de hidratação em cada relação água/cimento, idade de cura e percentual de substituição, conforme será descrito nas seções 4.4.3 e 4.4.4.

4.4.3 Micro análise por energia dispersiva (EDX)

Os pós de pasta cimentícia desagregados mecanicamente dos agregados graúdos, como descritos na seção 4.2.4.3 foram submetidos à fluorescência de raios X (FRX) pelo método semiquantitativo, em atmosfera a vácuo, utilizando o equipamento EDX-720 marca SHIMADZU. Os resultados são apresentados nos gráficos das Figuras 4.26 a 4.34 e apêndice C.

Da análise dos resultados de EDX das amostras, tomando-se como base os concretos com 28 dias de hidratação, certa ordem na variação dos percentuais dos constituintes químicos presentes em cada amostra, evidenciando diferenças no processo de formação cristalina do concreto com a utilização de agregado graúdo com brita 0 e com grânulos de vidro plano temperado.

A Tabela 4.6 resume os resultados de EDX do CH (CaO) e CSH (SiO₂) para os concretos segundo os diversos valores intervenientes.

Para os concretos de referência aos 28 dias, observou-se que ocorreu um decréscimo de CaO e um incremento de SiO₂ com o aumento da relação a/c.

Para os concretos com 50% de vidro plano temperado como agregado graúdo, observou-se que ocorreu um incremento de CaO e um decréscimo de SiO₂ com o aumento da relação a/c.

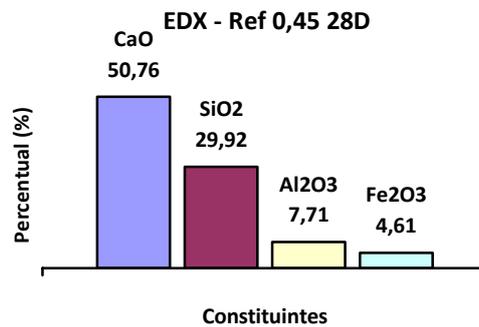
Finalmente para os concretos com 100% de vidro plano temperado (VPT) como agregado graúdo, observou-se que ocorreu um incremento de CaO, entre as a/c de 0,45 para 0,55, seguido de um decréscimo para a a/c 0,65. Por outro lado para o constituinte SiO₂ para as mesmas condições ocorreu um decréscimo seguido de acréscimo..

Tabela 4.6 – EDX do concreto com vidro plano temperado aos 28 dias.

a/c	EDX – 0%		EDX – 50%		EDX – 100%	
	CaO (%)	SiO ₂ (%)	CaO (%)	SiO ₂ (%)	CaO (%)	SiO ₂ (%)
0,45	50,76	29,92	57,40	25,11	67,77	18,50
0,55	49,96	30,87	58,13	24,66	69,39	17,29
0,65	49,75	31,42	62,10	21,79	68,85	17,77

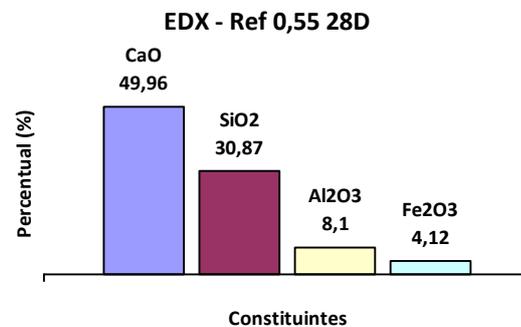
Fonte: Arquivos do autor (2014)

Figura 4.26 – EDX do concreto 0% de vidro plano temperado, a/c 0,45 aos 28 dias



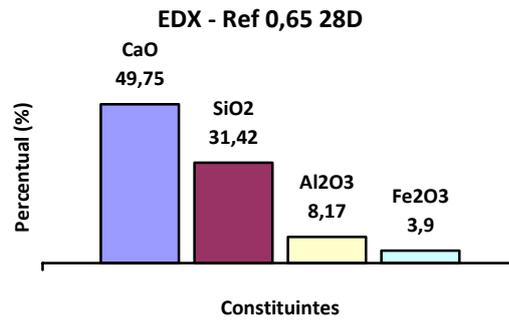
Fonte: Arquivos do autor (2014)

Figura 4.27 – EDX do concreto 0% de vidro plano temperado, a/c 0,55 aos 28 dias



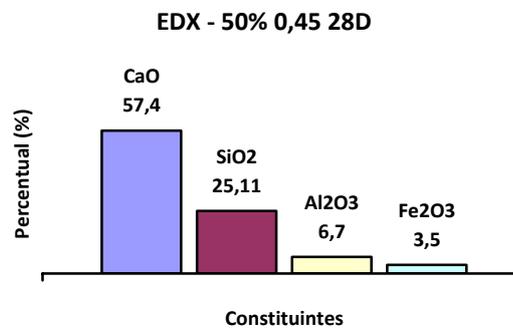
Fonte: Arquivos do autor (2014)

Figura 4.28 – EDX do concreto 0% de vidro plano temperado, a/c 0,65 aos 28 dias



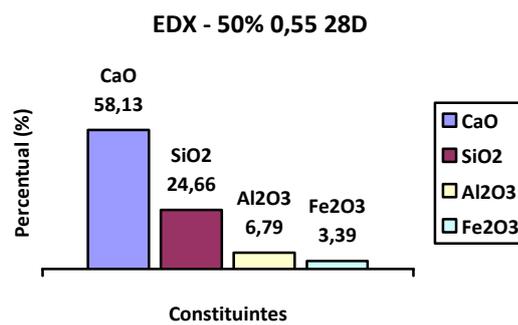
Fonte: Arquivos do autor (2014)

Figura 4.29 – EDX do concreto 50% de vidro plano temperado, a/c 0,45 aos 28 dias



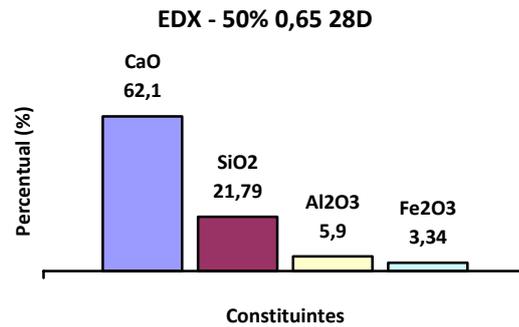
Fonte: Arquivos do autor (2014)

Figura 4.30 – EDX do concreto 50% de vidro plano temperado, a/c 0,55 aos 28 dias



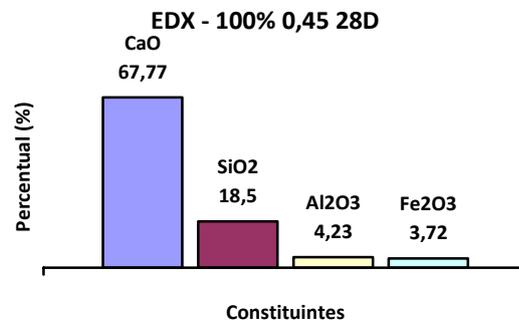
Fonte: Arquivos do autor (2014)

Figura 4.31 – EDX do concreto 50% de vidro plano temperado, a/c 0,65 aos 28 dias



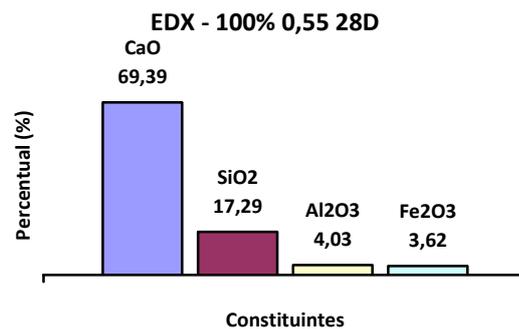
Fonte: Arquivos do autor (2014)

Figura 4.32 – EDX do concreto 100% de vidro plano temperado, a/c 0,45 aos 28 dias



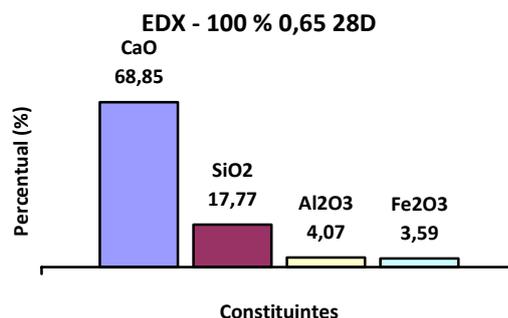
Fonte: Arquivos do autor (2014)

Figura 4.33 – EDX do concreto 100% de vidro plano temperado, a/c 0,55 aos 28 dias



Fonte: Arquivos do autor (2014)

Figura 4.34 – EDX do concreto 100% de vidro plano temperado, a/c 0,65 aos 28 dias



Fonte: Arquivos do autor (2014)

De um modo geral observou-se que quando o percentual de CaO decresce o de SiO₂ sofre acréscimo e vice-versa. Isto deve ao fato de que esses dois constituintes juntos compõem a massa de silicato de cálcio hidratado e hidróxido de cálcio que compõem percentuais de mais de 80% da pasta dos concretos avaliados. Desse modo, pode-se inferir que as pastas cimentícias dos concretos com percentuais de substituição parciais/totais de vidro plano temperado por pedra britada possuem composições químicas semelhantes.

4.4.4 Difração de raios-X (DRX)

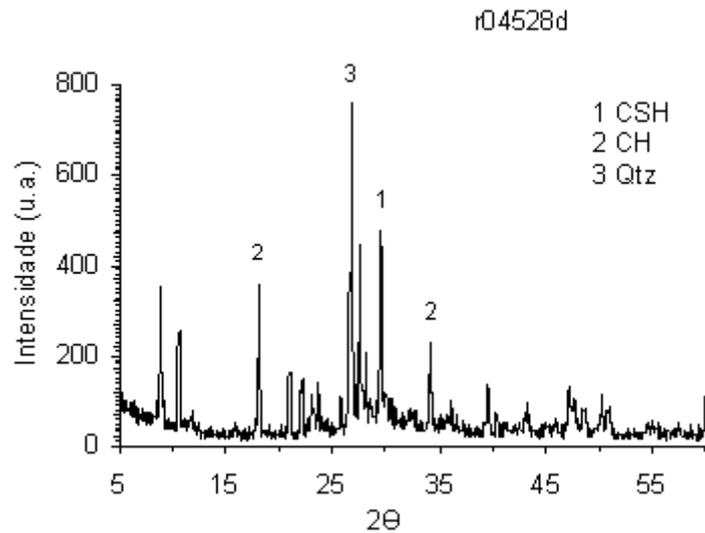
Nesta etapa da pesquisa foram analisadas amostras com todos os valores intervenientes, após terem sido desagregadas dos outros constituintes do concreto, de modo a permanecer somente uma massa de pasta cimentícia. As referidas análises constam no apêndice D.

Além da análise por difração de raios-X, foram procedidas análises químicas por EDX, com o propósito de se quantificar os elementos em conformidade com as alterações nos valores intervenientes. Finalmente, avaliou-se o grau de cristalinidade dos concretos produzidos, com a intenção de ter-se uma noção do grau de organização cristalina das pastas cimentícias produzidas.

Em relação às análises por DRX considerou-se picos de silicato de cálcio hidratado (CSH) para os ângulos de 29,3° e 32,1°; hidróxido de cálcio (CH) para 18,1° e 34,1° e Quartzo residual dos agregados (Qtz) com ângulo de 26,6°, conforme as Figuras 4.35 a 4.37.

A figura 4.35 refere-se ao concreto de referência com 0% de vidro como agregado graúdo e a/c 0,45 aos 28 dias.

Figura 4.35 – DRX para concreto de referência com a/c 0,45 aos 28 dias (r04528d).

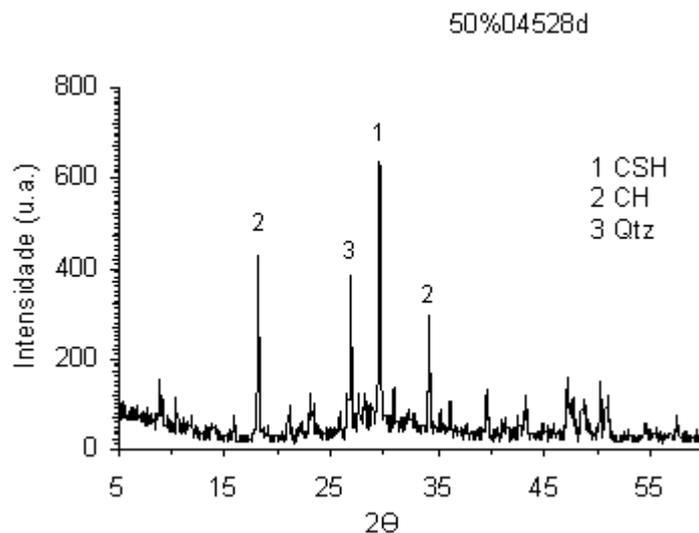


Fonte: Arquivo do autor (2014)

Para o concreto de referência com 0% de vidro, designado no difratograma da Figura 4.26 como r04528d, o pico mais intenso correspondeu ao Quartzo correspondendo na posição 2θ de $26,6^\circ$ com uma intensidade de 760 Counts. Foram também registrado picos de CSH ($29,3^\circ$ - 460 Counts e $32,1^\circ$ - 80 Counts) e picos de CH ($18,1^\circ$ - 360 Counts e $34,1^\circ$ - 240 Counts).

A figura 4.36 refere-se ao concreto de 50 % de vidro como agregado graúdo, designado por (5004528d), com a/c 0,45 aos 28 dias.

Figura 4.36 – DRX para concreto de 50 % de vidro com a/c 0,45 aos 28 dias (5004528d).

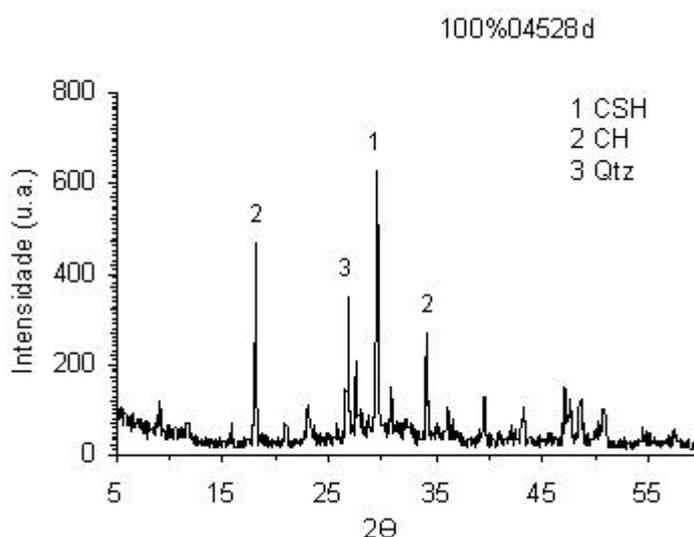


Fonte: Arquivo do autor (2014)

Nota-se a intensidade do pico de quartzo sofreu decréscimo de 760 Counts para 380 Counts. Essa redução é consequente da redução do uso de pedra britada nesse concreto, devido ao material pulverulento normalmente contido nesse material. Registrou-se para esse valor interveniente os picos de CSH - 29,3° (640 Counts) e 32,1° (80 Counts) ; CH – 18,1° (460 Counts) e 34,1° (300 Counts).

A Figura 4.37 refere-se ao concreto de 100 % de vidro como agregado graúdo com a/c 0,45 aos 28 dias.

Figura 4.37 – DRX para concreto de 100 % de vidro com a/c 0,45 aos 28 dias (10004528d).



Fonte: Arquivo do autor (2014)

Para o concreto com substituição total de brita por cacos de vidro plano temperado nota-se a redução ainda maior na intensidade de pico para o quartzo (340 Counts). Vale ressaltar que o quartzo residual se deve ao uso de areia de rio.

Avalia-se, ainda que a medida que o percentual de vidro se eleva os picos de Silicato de Cálcio Hidratado (CSH) ficam mais intenso, evoluindo de 360 Counts para 460 Counts. Este fato representa a diminuição de materiais pulverulentos na pasta cimentícia, acarretando a necessidade de redução da relação a/c.

Para esse valor interveniente, o CSH aos 29,3° correspondeu a uma intensidade de 640 Counts e aos 32,1°, 60 Counts. Já para o CH – 18,1° (460 Counts) e 34,1° (270 Counts) ; Quartz – 26,6° (340 Counts)

A Tabela 4.7 resume os valores de intensidade dos picos para concretos de relação água cimento (A/C) 0,45 na idade de 28 dias de hidratação.

Tabela 4.7 – Picos característicos para concretos de relação água cimento (A/C) 0,45 na idade de 28 dias de hidratação

Constituinte	Posição (2 θ)		Intensidade (Counts)	
Concreto 0% - R04528d				
CHS	29,3°	32,1°	460	80
CH	18,1°	34,1°	360	240
Quartzo	26,6°		760	
Concreto 50% - 5004528d				
CHS	29,3°	32,1°	640	80
CH	18,1°	34,1°	460	300
Quartzo	26,6°		380	
Concreto 100% - 10004528d				
CHS	29,3°	32,1°	640	60
CH	18,1°	34,1°	460	270
Quartzo	26,6°		340	

Fonte: Arquivo do autor (2014)

A Tabela 4.8 traz o registro dos valores de cristalinidade segundo os valores intervenientes adotados.

Tabela 4.8 – Grau de cristalinidade dos concretos.

Vidro %	Concreto		Dias		
	a/c		7	28	91
0	0,45		98,56	99,55	93,70
	0,55		98,75	94,79	98,83
	0,65		98,24	97,73	96,35
50	0,45		95,41	97,56	97,98
	0,55		92,63	94,39	96,27
	0,65		97,42	97,90	97,79
100	0,45		95,55	96,49	86,53
	0,55		80,67	75,30	89,70
	0,65		95,41	81,57	98,22

Fonte: Arquivo do autor (2014)

Segundo Bellucio (2007), tanto o módulo de deformação quanto resistência do concreto são aumentadas quando se aumenta o grau de cristalinidade, sendo essa propriedade consequente do empacotamento das cadeias moleculares que promovem um arranjo ordenado da estrutura.

Ao se analisar os dados referentes ao grau de cristalinidade, constantes na Tabela 4.6, não se observa uma ordem na variação dos valores de cristalinidade

bem definida, contudo esses valores são apresentados bem próximos a uma média geral de 94,20; correspondendo a um desvio padrão de aproximadamente 1,2%. Isso caracteriza o material como sendo de alto grau de cristalinidade. Esse fato é confirmado através da forma como os picos são apresentados nos gráficos de DRX, conforme Apêndice C.

Restringindo-se a análise por relação água/cimento (a/c) tem-se os valores de média e desvio padrão apresentados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Grau de cristalinidade dos concretos agrupados por a/c.

a/c	Idade (dias)	Média	Desvio Padrão
0,45	7	96,51	1,0
	28	97,86	0,9
	91	92,74	3,3
0,55	7	90,68	5,3
	28	88,16	6,4
	91	94,93	2,7
0,65	7	97,02	0,8
	28	92,40	5,4
	91	97,45	0,6

Fonte: Arquivo do autor (2014)

A partir dos dados apresentados na Tabela 4.7, pode-se inferir que os concretos classificados segundo a relação a/c possuem comportamento similar entre si e que os bons índices de cristalinidade refutam a ocorrência de reação álcali agregado, haja vista que a expansão do concreto ocasionada por essa reação causariam índices de cristalinidade menores.

Com base nas análises apresentadas se avalia que segundo o grau de cristalinidade os concretos com substituição parcial/total de pedra britada por cacos de vidro plano temperado são tecnicamente viáveis,

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação aos objetivos específicos delimitados para a presente pesquisa chegou-se as seguintes considerações finais:

- Quanto à caracterização dos agregados a análise granulométrica dos cacos ou grânulos de vidro plano temperado demonstrou que estes possuem módulo de finura (desvio padrão 0,25) e diâmetro máximo (desvio padrão 0,09) compatíveis com a brita utilizada como agregado graúdo dentro da zona ótima de utilização possibilitando as mesmas características de empacotamento do concreto de referência adotado;
- Ainda em relação à caracterização dos agregados, as propriedades massa específica e massa unitária dos cacos ou grânulos de vidro plano temperado são compatíveis às mesmas propriedades da brita utilizada;
- A caracterização química do vidro plano temperado através de micro análise por energia dispersiva acusa 59,50% de Si e 35,01% de Ca, tratando-se de vidro de sílica, sendo assim resistente a ataques químicos e estável a gradiente de calor elevado;
- Quanto à caracterização mecânica os concretos com idade de hidratação de 28 dias os concretos com 50% de vidro plano temperado como agregado graúdo para as relações água/cimento (a/c) de 0,45 e 0,55 foram classificados como concretos estruturais do grupo I com classes de resistência C30 e C25. Para o percentual de substituição de 100% de vidro para a relação a/c de 0,45 o concreto foi classificado como estrutural do grupo I com classe de resistência C20. Finalmente os concretos de 50% de vidro com a/c 0,65 e 100% de vidro com a/c 0,55 e 0,65 foram classificados como concretos não estruturais. Desse modo os concretos com substituição parcial e total de pedra britada por vidro plano temperado atende a uma vasta gama de aplicações;
- Quanto a análise microestrutural por microscopia óptico digital comprovou-se de maneira qualitativa que na região de interface entre os grânulos de vidro plano temperado e a pasta cimentícia ocorre intensa atividade de cristalização o que possibilita grande adesão entre os agregados de forma compatível com

o que ocorre com a interface entre pasta e pedra britada, ocasionando ganho de resistência mecânica;

- Quanto à análise microestrutural a microscopia eletrônica de varredura corroborou com a análise procedida por microscopia óptica digital, confirmando a boa propriedade de adesão do agregado gráúdo vítreo com a pasta cimentícia;
- Quanto à análise por difração de raios X, comparou-se o grau de cristalinidade entre as pastas cimentícias, desagregadas dos agregados gráúdo e miúdo, nos concretos de referência e de substituição evidenciando adequada compatibilidade entre os produtos de hidratação da pasta cimentícia desses concretos;
- Quanto à análise química por micro análise de energia dispersiva comprovou-se as semelhanças na natureza dos elementos que compõem as pasta cimentícias, com fases principais constituídas por CaO e SiO₂, indicando a predominância de CH e CSH, nos concretos com 0%, 50% e 100% de percentual de substituição de brita por vidro plano temperado. Esse fato sugere o uso seguro do caco de vidro plano temperado como agregado gráúdo em concretos;

Em relação ao objetivo geral da presente pesquisa o emprego de resíduos de cacos de vidro plano temperado possibilita larga empregabilidade na construção civil haja vista que as propriedades físico-mecânicas e micro estrutural dos concretos produzidos mediante emprego de resíduos de vidro plano temperado demonstram adequada compatibilidade. Não foi considerado nesse trabalho estudos acerca da reação álcali-agregado, contudo devido a natureza alumino-silicato do vidro plano temperado e dos bons índices de resistência à compressão, admite-se esse agregado, alternativo à brita, seja inerte a essa reação. Dessa forma, os resultados apontam para o emprego seguro deste concreto em aplicações gerais de concreto, notadamente em fundações, tubulações, paredes grossas, vigas, lajes e paredes finas com a utilização de percentual de substituição parcial ou total de vidro como agregado gráúdo, notadamente em aplicações ecológicas, requerendo, contudo, estudo detalhado da relação água/cimento para diversos percentuais de substituição.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Recomenda-se que em trabalhos futuros sejam considerados os seguintes aspectos:

- Ajuste da relação água/cimento segundo o grau de consistência;
- Produção de corpos de prova com dimensões 10 x 30 cm;
- Ensaio de resistências dos concretos ao desgaste por abrasão;
- Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura com maiores ampliações em amostras seccionadas por discos abrasivos diamantados para corte de pedras e minerais;
- Estudo de concretos com utilização de agregado graúdo de vidro plano temperado para aplicações específicas a exemplo de pisos e pavimentos.

REFERÊNCIAS

ABCP (2002), **Boletim Técnico 106: Guia básico de utilização de cimento Portland**, 7 ed, São Paulo, ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland.

ABIVIDRO. **História do vidro**. Disponível em :<<http://www.abividro.org.br/index.php/18>>. Acesso em: 07 de ago de 2009.

ABNT . NBR: 5732: **Cimento Portland comum**. Rio de Janeiro, 1991.

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

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

ABNT. NBR 6118: **Agregados - Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. NBR 7199: **Projeto, execução e aplicações de vidro na construção civil**. Rio de Janeiro, 1989.

ABNT. NBR 7211: **Agregados para concreto**. Rio de Janeiro, 1987

ABNT. NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT. NBR 8953: **Concreto para fins estruturais. Classificação por grupos de resistência** - Classificação. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. NBR 9935: **Agregados: terminologia**. Rio de Janeiro, 2003

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

ABNT. NBR NM 26: **Agregados – Amostragem**. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT. NBR NM 27: **Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT. NBR NM 51: **Agregado graúdo – Ensaio de Abrasão “Los Angeles”**. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT. NBR NM 52: **Agregado miúdo-Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. NBR NM 53: **Agregado graúdo-determinação de massa específica e massa aparente**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT. NBR NM 67: **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT. NBR NM ISO 7500-1: Versão Corrigida: 2004. **Materiais metálicos - Calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial**, Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. NBR NM ISO 3310-1 - Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação. Rio de Janeiro, ABNT, 1997.

AÏTCIN, P. **Cements of yesterday and today: Concrete of tomorrow**. Cement and Concrete Research, v. 30, n. 9, 2000.

AKERMAN, M. **Natureza, estrutura e propriedades do vidro**. Centro Técnico de Elaboração de Vidros, Saint Gobain Vidros BRASIL, 2000.

ANGULO, S. C. et al. **Desenvolvimento de novos mercados para a reciclagem massiva de RCD**. Seminário de Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, v. 5, p. 293-307, 2002.

ANGULO, S.C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

AQUINO, J.L.S. **Desenvolvimento de compósitos de matriz cimentícia utilizando resíduos de politereftalato de etileno (PET) e de areia de britagem na produção de concretos**. UFCG. Tese de Doutorado. Campina Grande, 2013.

BASTOS, P.S. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: UNESP, 2006.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção: v.1**. Livros Técnicos e Científicos, 2012.

BELLUCIO, E. K. **Influência da rugosidade superficial eo uso de novos tipos de fibras em almofadas de argamassa para ligações de concreto pré-moldado**. USP. Tese de Doutorado. São Paulo. 2007

BICHINHO, K. M. **Utilização da técnica de espectrometria de fluorescência de raios X para determinação de resíduos catalíticos em polímeros comerciais**. UFRG. Tese de Doutorado. Porto Alegre. 2008.

BROWN, T. L. **Química Central A Ciência Central**, 9ª Ed. , São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2005.

CABRAL, A. E. B. ET AL. **Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha**. Cerâmica, v. 55, p. 448-460, 2009.

CALLISTER JR, WILLIAM D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Livros Técnicos e Científicos, 2008.

CARVALHO, A. G. **Energia de Ativação dos Concretos Experimentação e Modelagem**. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro, 2002. 134 p. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

CARVALHO, J.R. **Utilização de vidro reciclado para produção de concreto verde em Fernando de Noronha**. VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis - Vitória – ES - BRASIL - 7 a 9 de set de 2011.

CEBRACE. **O Vidro**. Cristal Plano Ltda, 1981.

CEMPRE – **Compromisso Empresarial para Reciclagem. Vidro – O mercado para a reciclagem.** Disponível em <http://www.cempre.org.br/fichas_tecnicas.php?lnk=ft_vidro.php>. Acesso em: 10 de ago de 2012.

DUART, M.A. **Estudo da Microestrutura do Concreto com Adição de Cinza de Casca de Arroz Residual sem Beneficiamento.** Diss. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal De Santa Maria, 2008.

FIGUEIREDO, P. J. M., **A sociedade do lixo: os resíduos, a questão energética e a crise ambiental.** 2a ed. Piracicaba: UNIMEP, 2005.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; DOS SANTOS, C. A. **Ensaio dos materiais.** Livros Técnicos e científicos, 2000.

HOPPEN, Cinthya et al. Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento Portland para reduzir o impacto ambiental. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 79, 2006.

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Cartilha de limpeza urbana.** Disponível em <<http://www.resol.com.br/cartilha/apresentacao.asp>>. Acesso em: 02 de ago de 2011.

IPEA. **Estimativas do Déficit Habitacional brasileiro.** (PNAD 2007-2012). Brasília, 2013.

JEOL. **Electron Optics Image Gallery.** Disponível em <<http://www.jeolusa.com/RESOURCES/ElectronOptics/ImageGallery/tabid/323/AlbumID/570-2/Default.aspx>>. Acesso em: 05 de maio de 2014.

KAEFER, L.M. **A evolução do concreto armado.** São Paulo: Editora da USP, 1998.

KREUZ, A. L. et al. **Utilização de cinzas pesadas de termelétricas na substituição de cimento e areia na confecção de concretos.** 2002.

LE CHATELIER, H. **Recherches expérimentales sur la constitution des ciments et la théorie de leur prise (Experimental researches on the constitution of cement and the theory of their setting).** Acad. Sci. Paris, v. 94, p. 867-869, 1882.

LEE, J. D. **Química inorgânica não tão concisa** -Tradução da 5ª Ed. Ed. Edgard Blücher, 2003.

LEITE, M.B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LÓPEZ, D. A. R.; DE AZEVEDO, C. A. P.; NETO, E. BARBOSA. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com vidro cominuído como agregado fino.** Cerâmica, v. 51, p. 318-324, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo, Editora IBRACON, 2008.

MOURA, W.A. **Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2a ed., Tradução por Salvador E. Giammuso, São Paulo: Editora Pinni, 1997, 749 p.

OVERSITE. **Microscópio eletrônico digital USB 800x**. Disponível em <<http://www.oversite.com.br/microscopio-eletronico-digital-usb-800x.html>>. Acesso em: 25 de jul de 2013.

PADILHA, A.F, AMBROZIO FILHO, F. **Técnicas de análise microestrutural**. São Paulo: Hemus, 2004.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 14. Ed. São Paulo: Globo, 2005.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção**. 13. Ed. São Paulo: Globo, 1998.

PILKINGTON. **Revolução do Float**. Disponível em:<<http://www.pilkington.com/the+americas/brazil/portuguese/default.htm>>. Acesso em: 11 de ago de 2009.

POLLEY, C; CRAMER, S. M.; CRUZ, R.V. **Potential for using waste glass in Portland cement concrete**. Journal of Materials in Civil Engineering, v. 10, n. 4, p. 210-219, 1998.

RAMOS, P; RAMOS, M. M.; BUSNELLO, S.J. **Manual prático de metodologia da pesquisa - artigo, resenha, projeto, TCC, monografia, dissertação e tese**. Blumenau: Acadêmica, 2003.

RIBEIRO, C.C.; PINTO, J.D.S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil**. Belo Horizonte: Lithera Editora Gráfica, 2000. 93p.

ROMANO. **Manual de tecnologia do concreto**. Disponível em:<<http://pessoal.utfpr.edu.br/amacinrm/tecc-epc/arquivos/Apostila01.pdf>>. Acesso em 28 de abr de 2012.

ROSSIGNOLO, J. A. Avaliação da zona de transição interfacial pasta-agregado leve em concretos com sílica ativa e látex SBR. **Revista Matéria**, v. 12, n. 3, p. 532-540, 2007.

ROSSIGNOLO, João Adriano. Concreto leve estrutural: influência da argila expandida na microestrutura da zona de transição pasta/agregado. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 4, p. 119-127, 2009.

SEBRAE-SP. **Como montar vidraçaria**. - Revista Pequenas Empresas Grandes Negócios / N° 134. Estudo Setorial de Vidro, Março de 1998.

SHELBY, J. E. **Introduction to glass science and technology**. Royal Society of Chemistry, 2005.

SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W. **Química Inorgânica**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2008, 848p.

TASHIMA, Mauro Mitsuuchi. **Cinza de Casca de Arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland**. 2006. Tese de Doutorado.

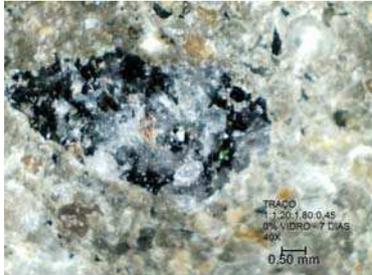
ZANELLO, S. **Tópicos de química tecnológica do concreto** – notas de aula. Disponível em: <<http://pessoal.utfpr.edu.br/zanello/arquivos/notasdeaula.pdf>>, Acesso em: 30 de jul de 2013.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. 1997

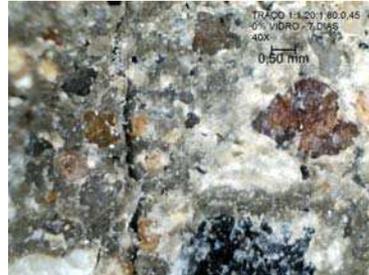
APÊNDICES

APÊNDICE A - Microscopia Óptica Digital - MOD

CONCRETO COM 0% DE VIDRO TEMPERADO PLANO A/C 0,45



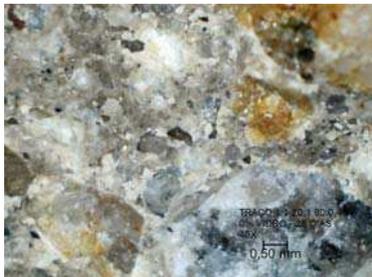
7 dias - 40x



7 dias-40x



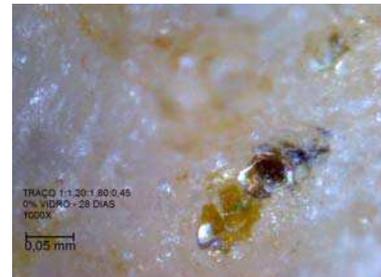
7 dias-1000x



28 dias - 40X



28 dias - 40X



28 dias - 1000X



91 dias - 40X

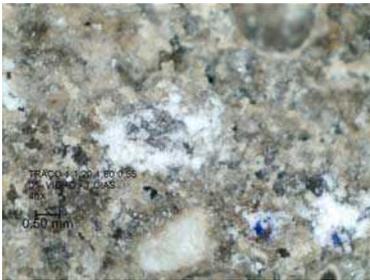


91 dias - 40X



91 dias - 1000X

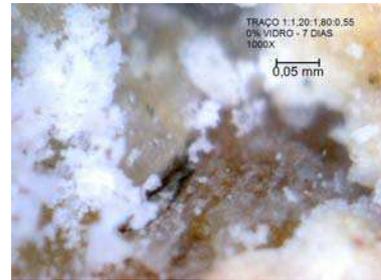
CONCRETO COM 0% DE VIDRO TEMPERADO PLANO A/C 0,55



7 dias - 40x



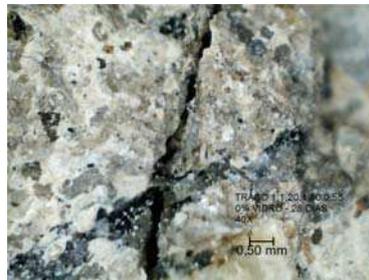
7 dias-40x



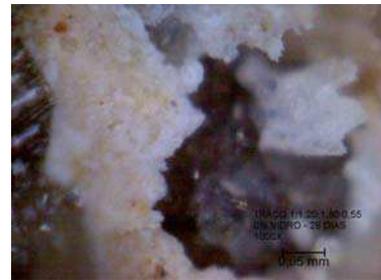
7 dias-1000x



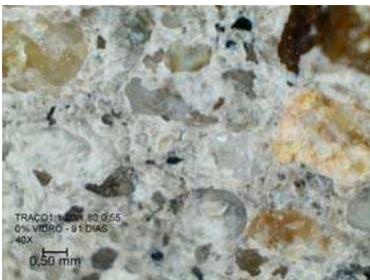
28 dias - 40X



28 dias - 40X



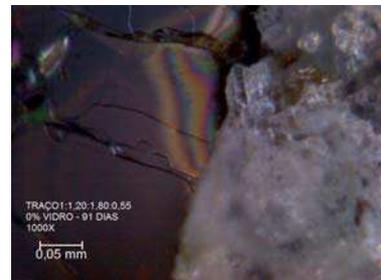
28 dias - 1000X



91 dias - 40X



91 dias - 40X

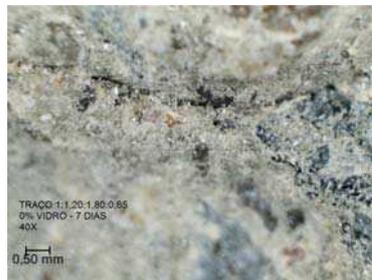


91 dias - 1000X

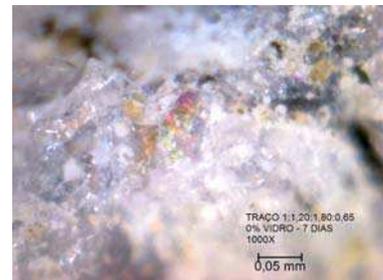
CONCRETO COM 0% DE VIDRO TEMPERADO PLANO A/C 0,65



7 dias - 40x



7 dias-40x



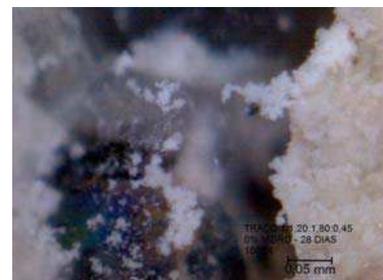
7 dias-1000x



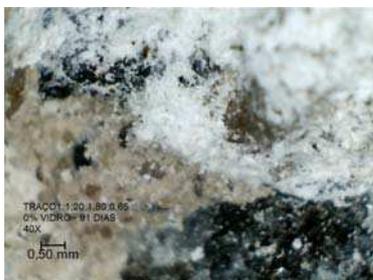
28 dias - 40X



28 dias - 40X



28 dias - 1000X



91 dias - 40X

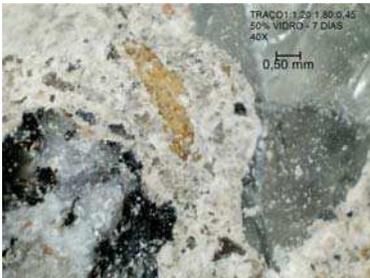


91 dias - 40X



91 dias - 1000X

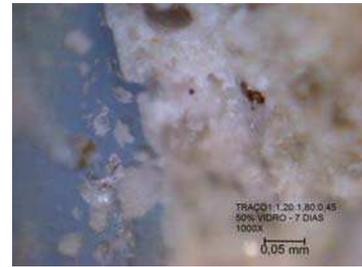
CONCRETO COM 50% DE VIDRO TEMPERADO PLANO A/C 0,45



7 dias - 40x



7 dias-40x



7 dias-1000x



28 dias – 40X



28 dias – 40X



28 dias – 1000X



91 dias – 40X



91 dias – 40X



91 dias – 1000X

CONCRETO COM 50% DE VIDRO TEMPERADO PLANO A/C 0,55



7 dias - 40x



7 dias-40x



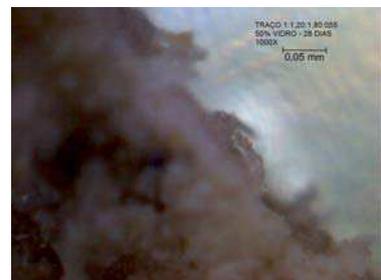
7 dias-1000x



28 dias - 40X



28 dias - 40X



28 dias - 1000X



91 dias - 40X



91 dias - 40X



91 dias - 1000X

CONCRETO COM 50% DE VIDRO TEMPERADO PLANO A/C 0,65



7 dias - 40x



7 dias-40x



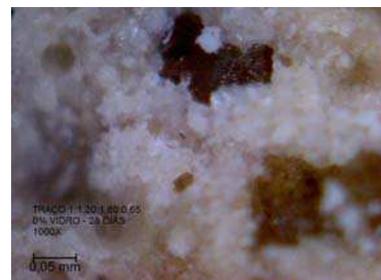
7 dias-1000x



28 dias - 40X



28 dias - 40X



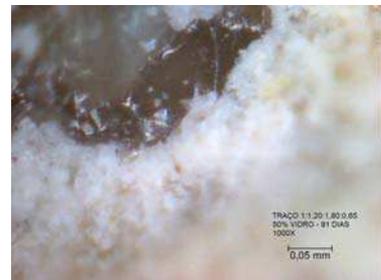
28 dias - 1000X



91 dias - 40X



91 dias - 40X



91 dias - 1000X

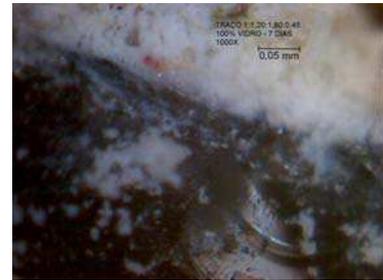
CONCRETO COM 100% DE VIDRO TEMPERADO PLANO A/C 0,45



7 dias - 40x



7 dias-40x



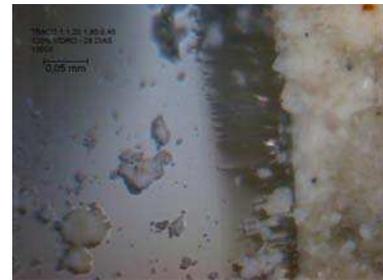
7 dias-1000x



28 dias - 40X



28 dias - 40X



28 dias - 1000X



91 dias - 40X

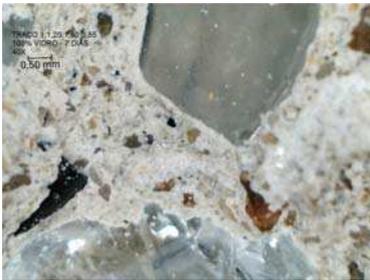


91 dias - 40X



91 dias - 1000X

CONCRETO COM 100% DE VIDRO TEMPERADO PLANO A/C 0,55



7 dias - 40x



7 dias-40x



7 dias-1000x



28 dias - 40X



28 dias - 40X



28 dias - 1000X



91 dias - 40X



91 dias - 40X



91 dias - 1000X

CONCRETO COM 100% DE VIDRO TEMPERADO PLANO A/C 0,65



7 dias - 40x



7 dias-40x



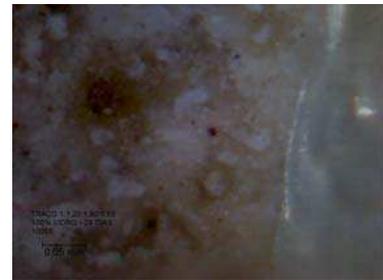
7 dias-1000x



28 dias - 40X



28 dias - 40X



28 dias - 1000X



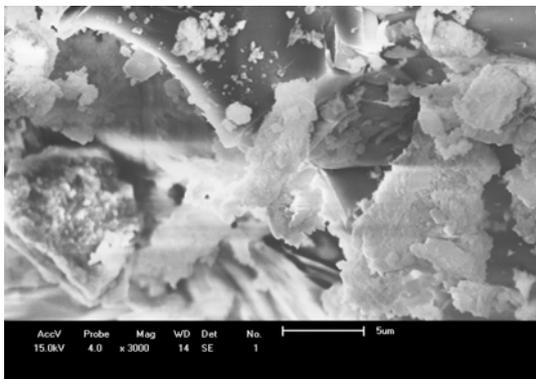
91 dias - 40X



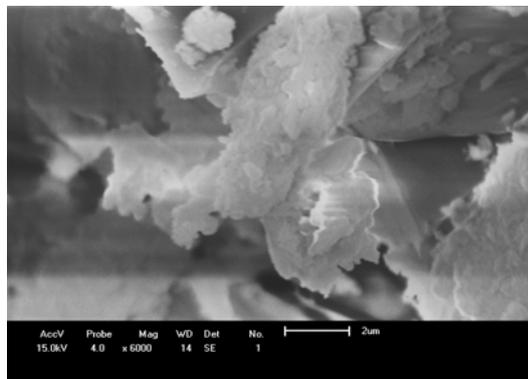
91 dias - 40X



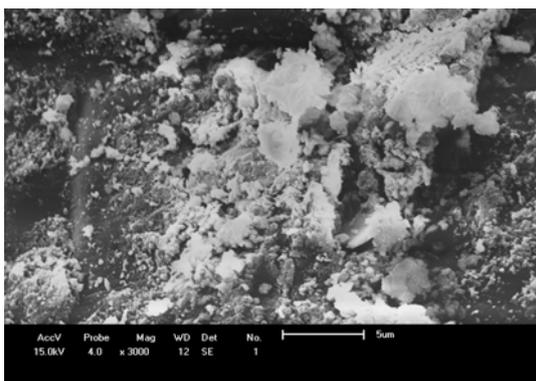
91 dias - 1000X

APÊNDICE B - Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV**CONCRETO COM 0% DE VIDRO PLANO TEMPERADO A/C 0,45**

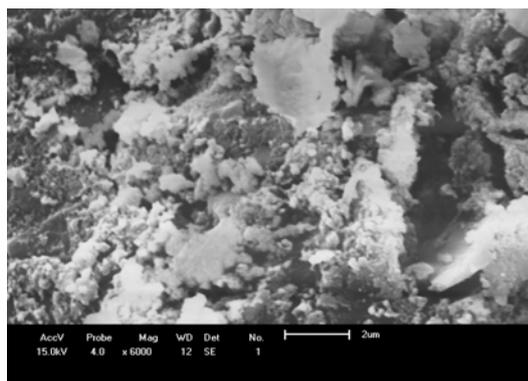
7 dias – 3000X



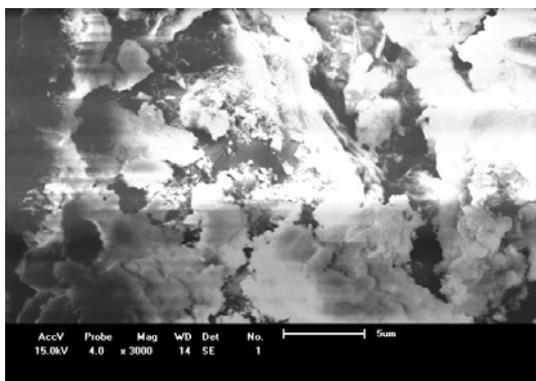
7 dias – 6000X



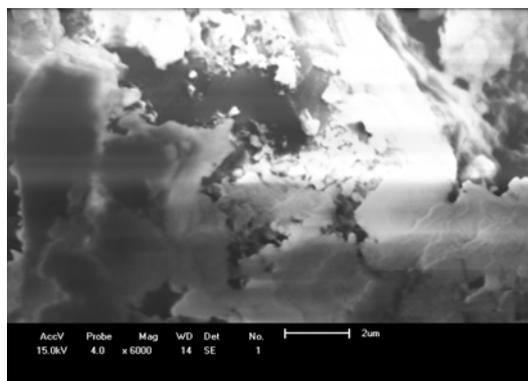
28 dias – 3000X



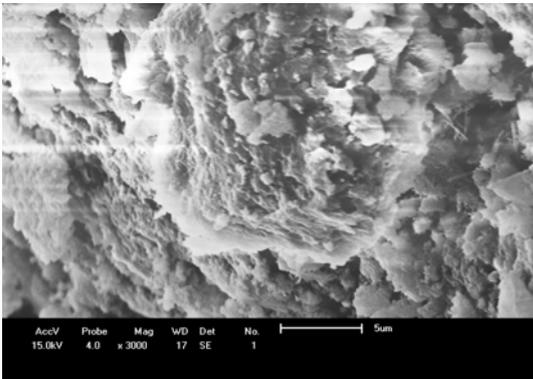
28 dias – 6000X



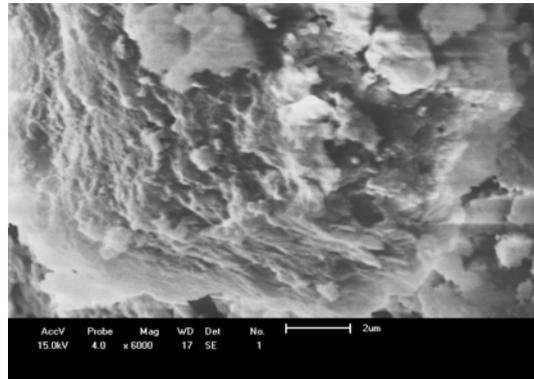
91 dias – 3000X



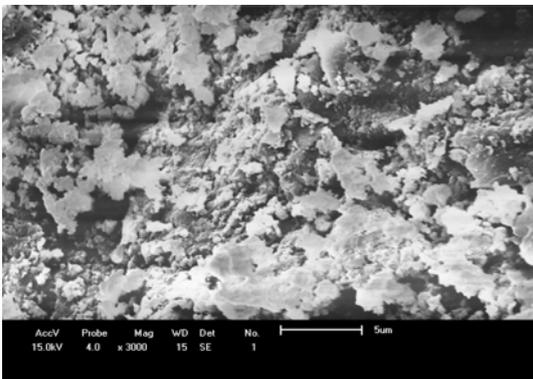
91 dias – 6000X

CONCRETO COM 0% DE VIDRO PLANO TEMPERADO A/C 0,55

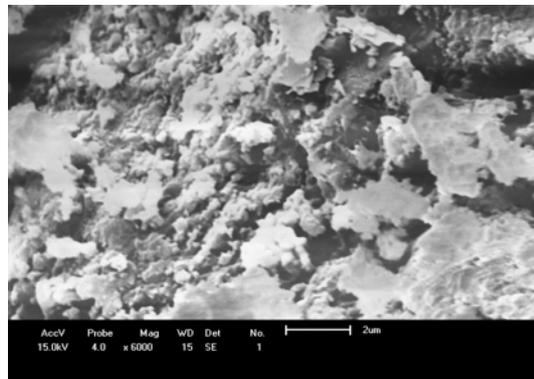
7 dias – 3000X



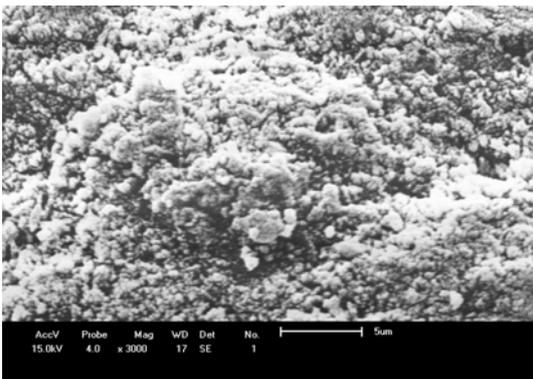
7 dias – 6000X



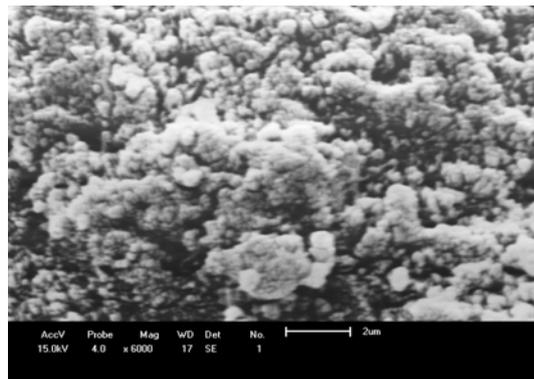
28 dias – 3000X



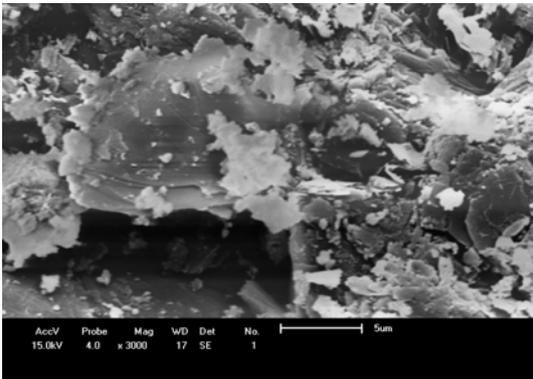
28 dias – 6000X



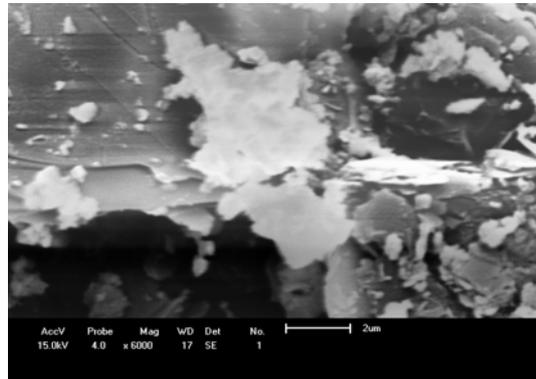
91 dias – 3000X



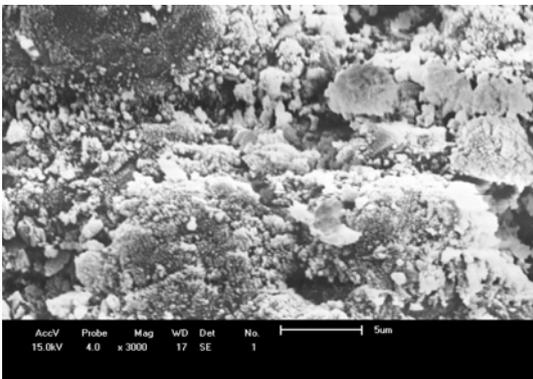
91 dias – 6000X

CONCRETO COM 0% DE VIDRO PLANO TEMPERADO A/C 0,65

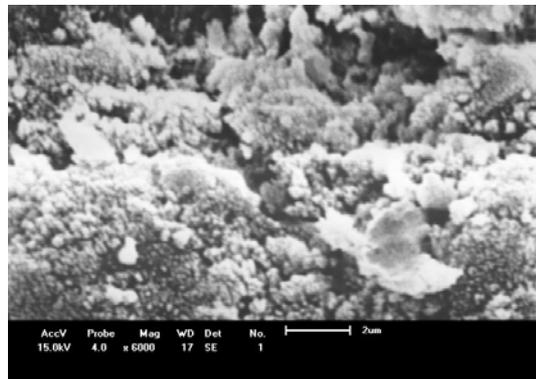
7 dias – 3000X



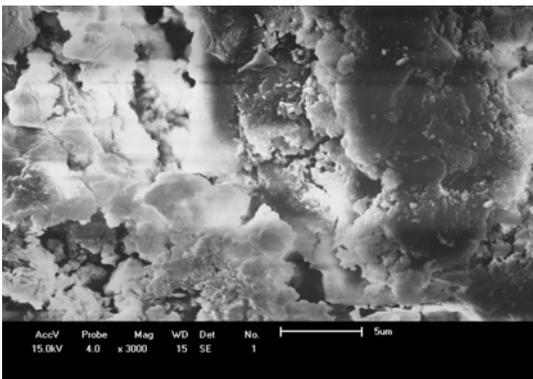
7 dias – 6000X



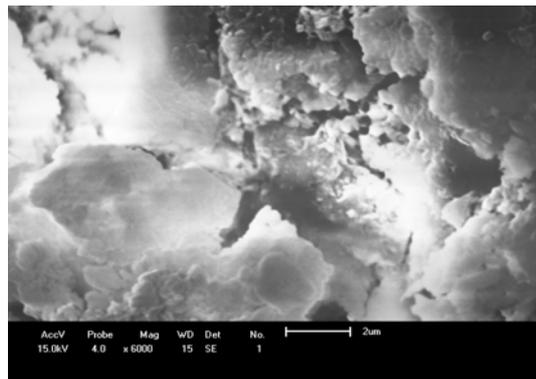
28 dias – 3000X



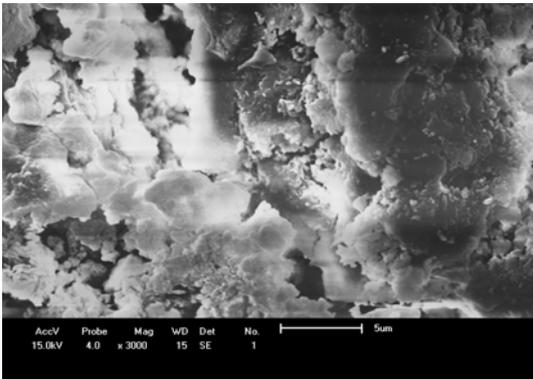
28 dias – 6000X



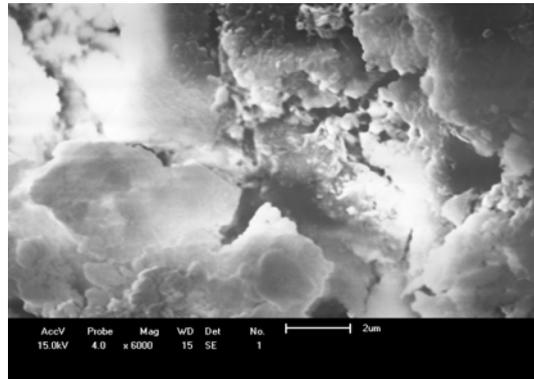
91 dias – 3000X



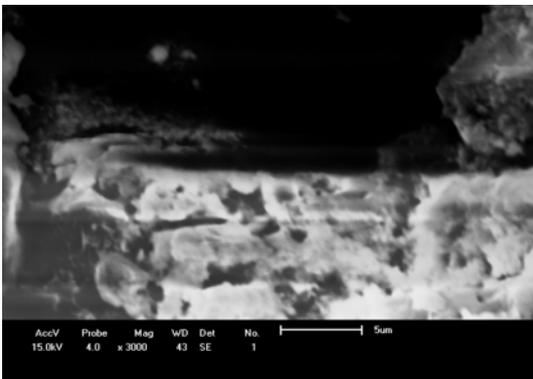
91 dias – 6000X

CONCRETO COM 50% DE VIDRO PLANO TEMPERADO A/C 0,45

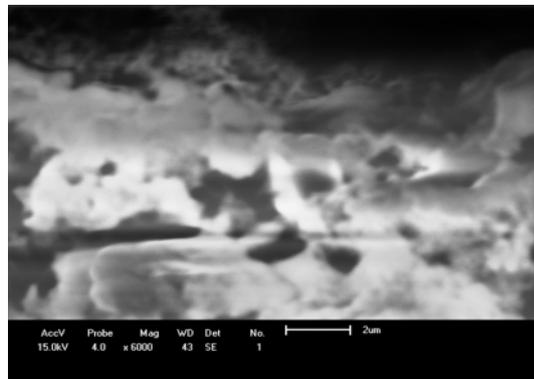
7 dias – 3000X



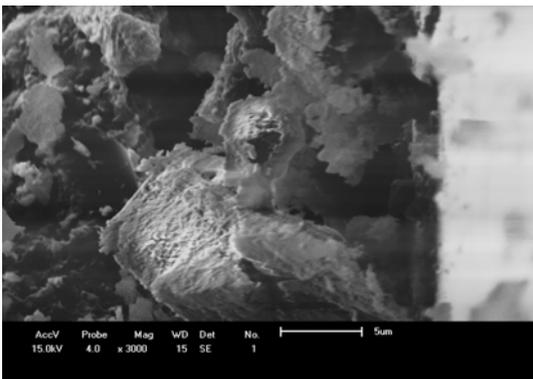
7 dias – 6000X



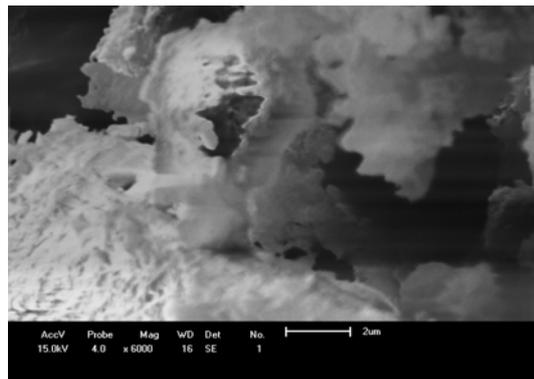
28 dias – 3000X



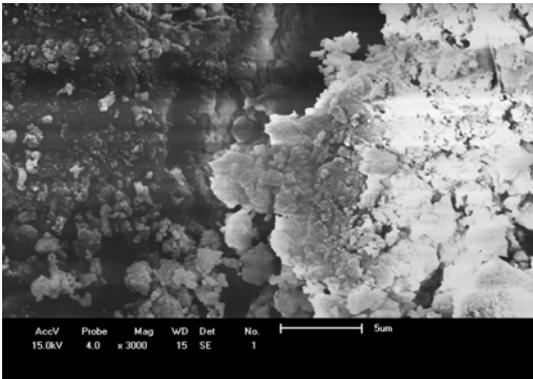
28 dias – 6000X



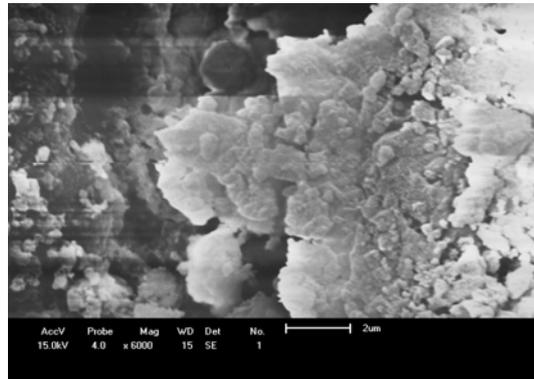
91 dias – 3000X



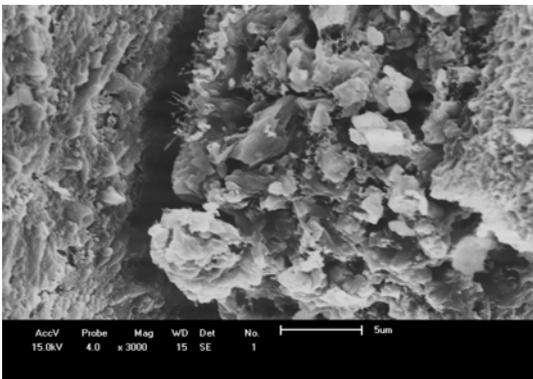
91 dias – 6000X

CONCRETO COM 50% DE VIDRO PLANO TEMPERADO A/C 0,55

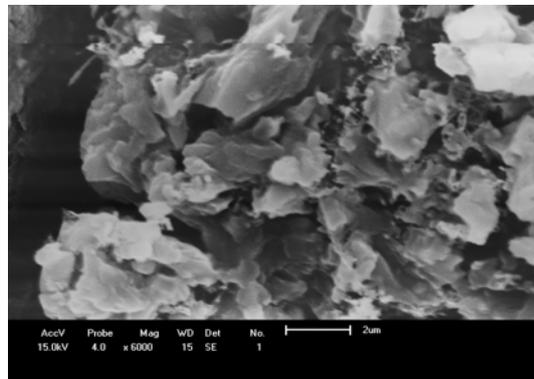
7 dias – 3000X



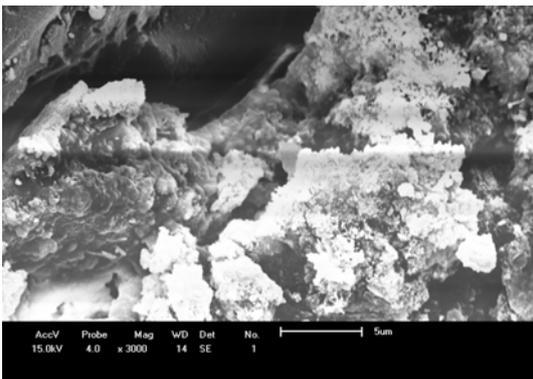
7 dias – 6000X



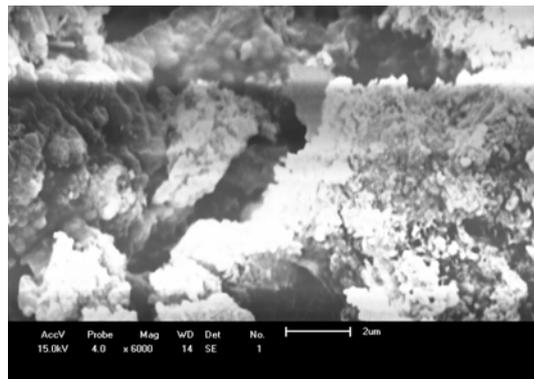
28 dias – 3000X



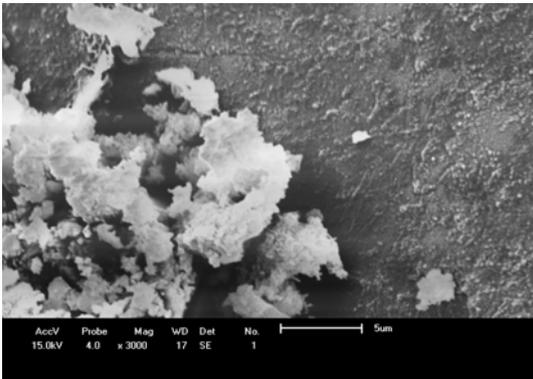
28 dias – 6000X



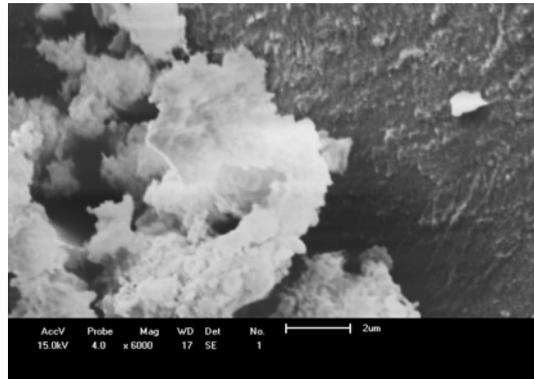
91 dias – 3000X



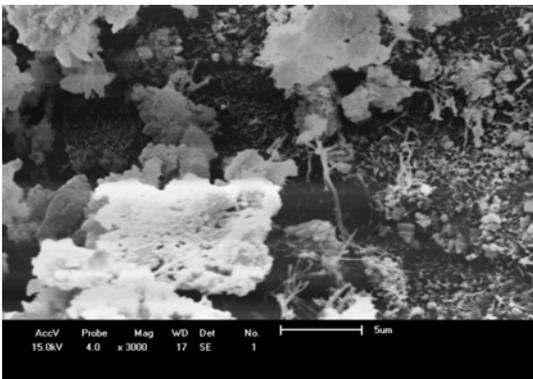
91 dias – 6000X

CONCRETO COM 50% DE VIDRO PLANO TEMPERADO A/C 0,65

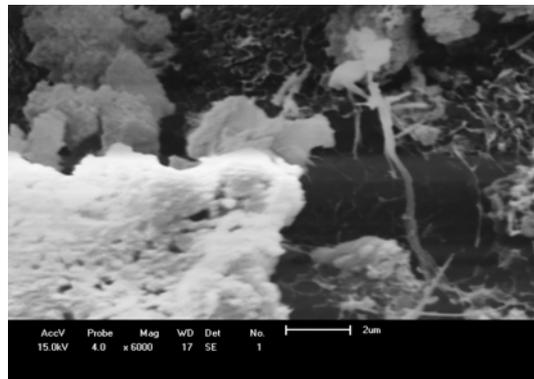
7 dias – 3000X



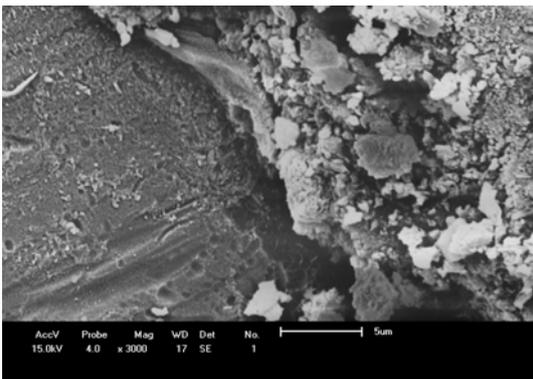
7 dias – 6000X



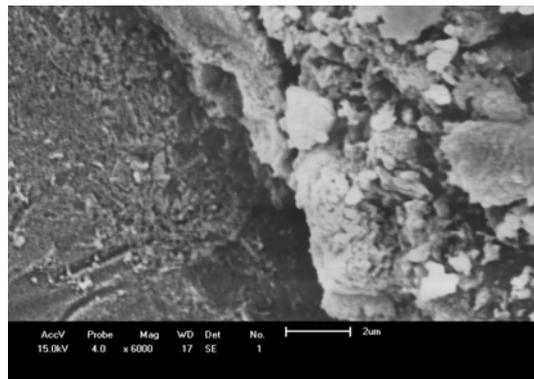
28 dias – 3000X



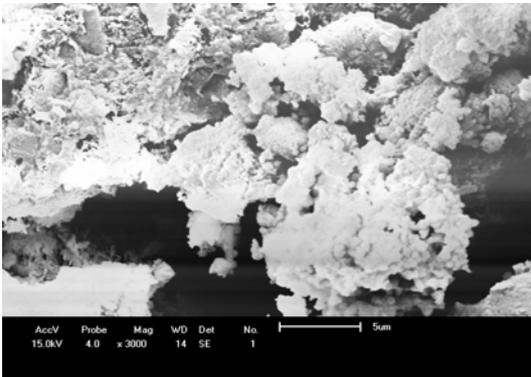
28 dias – 6000X



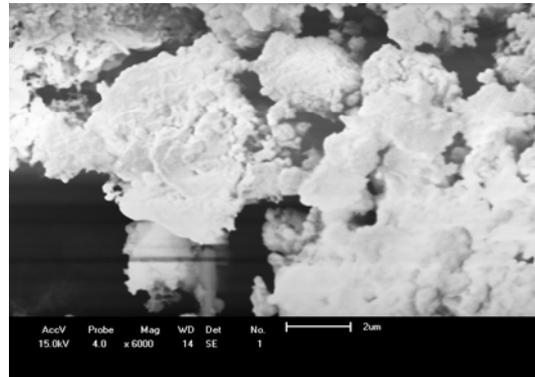
91 dias – 3000X



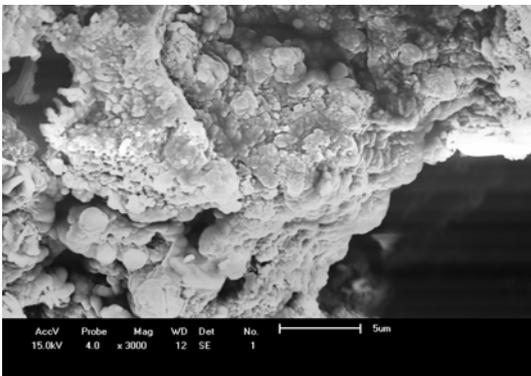
91 dias – 6000X

CONCRETO COM 100% DE VIDRO PLANO TEMPERADO A/C 0,45

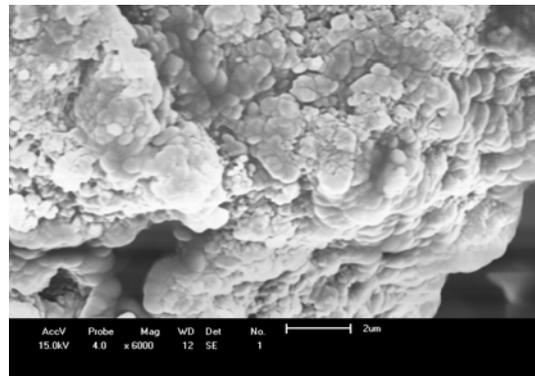
7 dias – 3000X



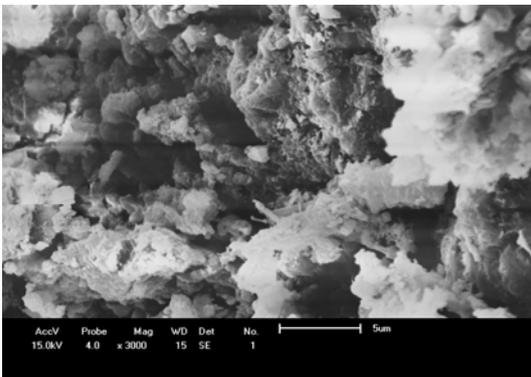
7 dias – 6000X



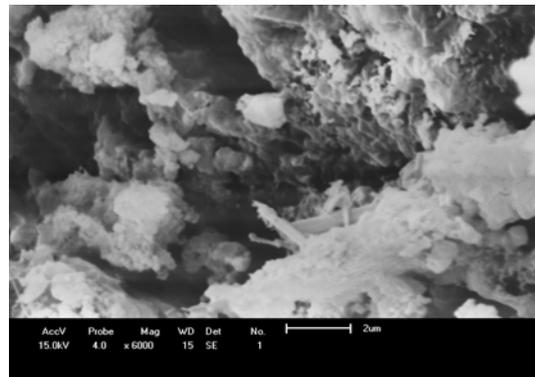
28 dias – 3000X



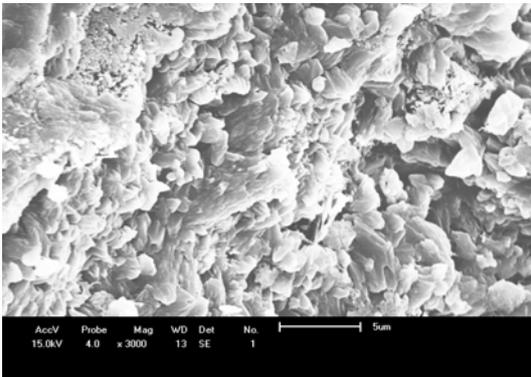
28 dias – 6000X



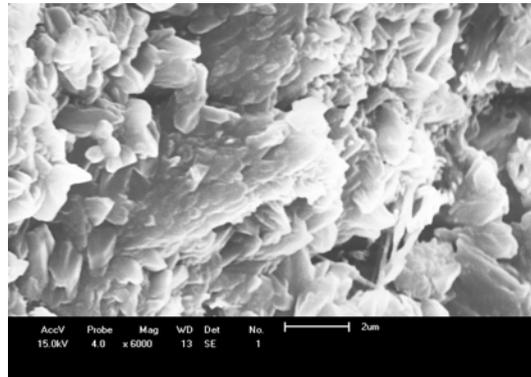
91 dias – 3000X



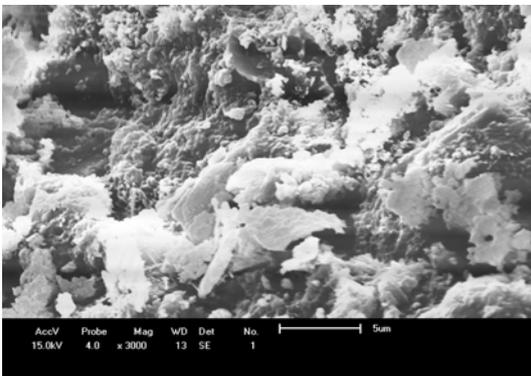
91 dias – 6000X

CONCRETO COM 100% DE VIDRO PLANO TEMPERADO A/C 0,55

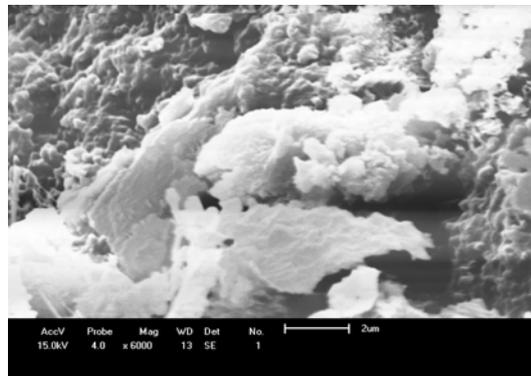
7 dias – 3000X



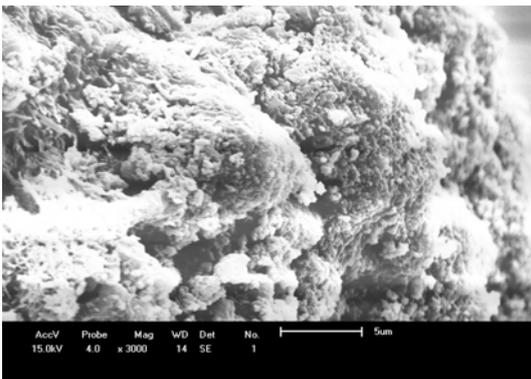
7 dias – 6000X



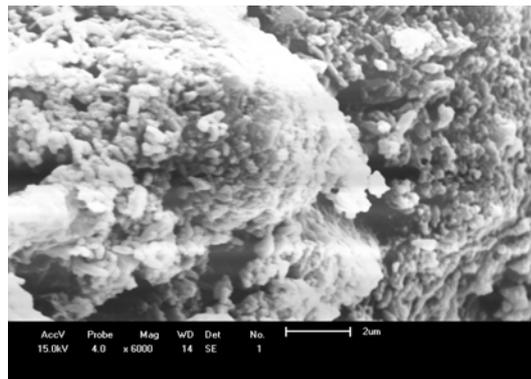
28 dias – 3000X



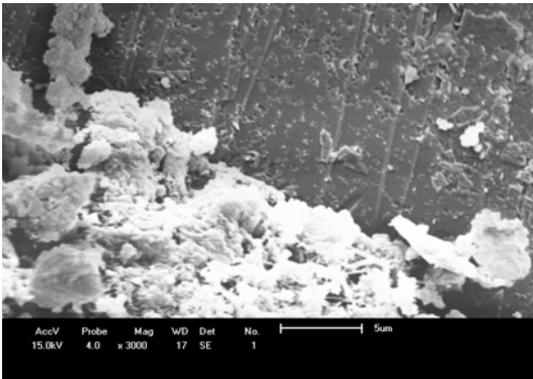
28 dias – 6000X



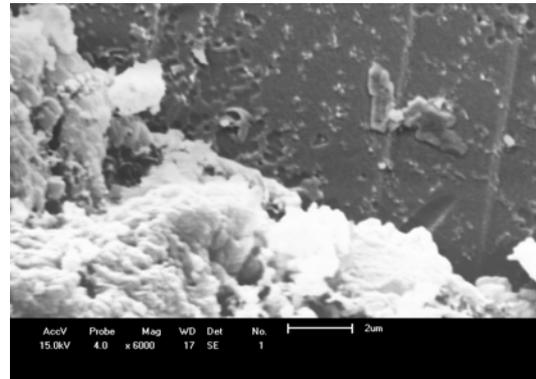
91 dias – 3000X



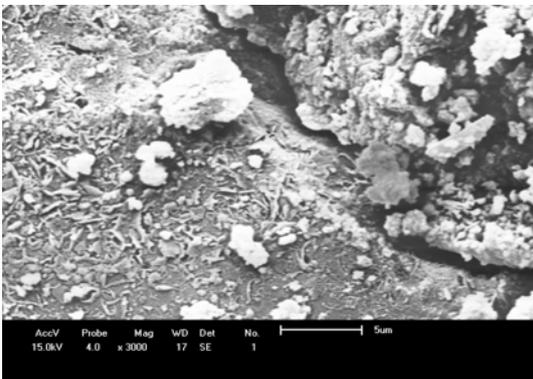
91 dias – 6000X

CONCRETO COM 100% DE VIDRO PLANO TEMPERADO A/C 0,65

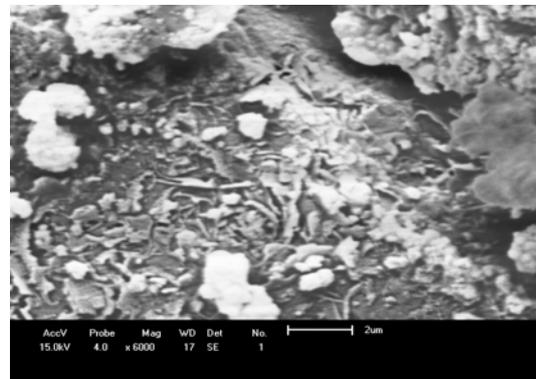
7 dias – 3000X



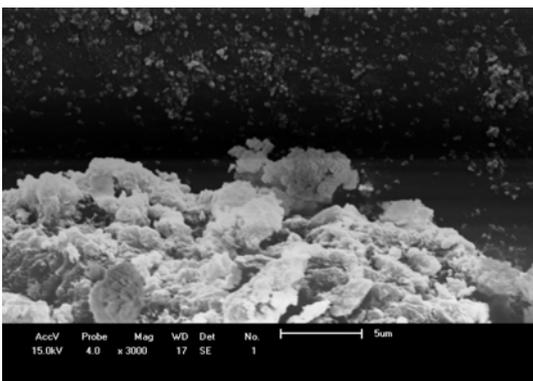
7 dias – 6000X



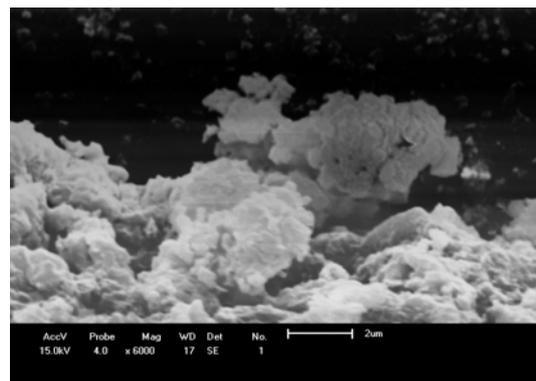
28 dias – 3000X



28 dias – 6000X



91 dias – 3000X



91 dias – 6000X

APÊNDICE C - Micro análise por energia dispersiva (EDX) das amostras de pasta cimentícia desagregada

Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 7 dias

Sample : r0457d
 Operator : Juliana
 Comment : pastilhas
 Group : Pastilha_10mm
 Date : 2013-11-21 15:49:06

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG	kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	58-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	41	
Na-Sc	Rh 15	285-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	39	

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	46.630	(0.043)	Quan-FP	CaKa	40.9345
SiO2	33.527	(0.059)	Quan-FP	SiKa	11.3275
Al2O3	8.705	(0.048)	Quan-FP	AlKa	1.2619
Fe2O3	5.073	(0.011)	Quan-FP	FeKa	37.2624
SO3	2.053	(0.010)	Quan-FP	S Ka	1.5992
K2O	1.999	(0.010)	Quan-FP	K Ka	1.7939
MgO	1.127	(0.039)	Quan-FP	MgKa	0.0647
TiO2	0.510	(0.009)	Quan-FP	TiKa	1.0042
BaO	0.209	(0.018)	Quan-FP	BaLa	0.2028
MnO	0.069	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.4245
ZrO2	0.045	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	2.5628
SrO	0.043	(0.001)	Quan-FP	SrKa	2.3656
Rb2O	0.010	(0.000)	Quan-FP	RbKa	0.5374
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 28 dias

Sample : r04528d
 Operator : Juliana
 Comment : pastilhas
 Group : Pastilha_10mm
 Date : 2013-11-21 16:43:33

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	54-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	38
Na-Sc	Rh 15	276-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	39

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	54.276	(0.047)	Quan-FP	CaKa	47.3528
SiO2	27.125	(0.054)	Quan-FP	SiKa	9.0594
Al2O3	7.568	(0.048)	Quan-FP	AlKa	1.0579
Fe2O3	4.100	(0.010)	Quan-FP	FeKa	27.6668
MgO	2.385	(0.049)	Quan-FP	MgKa	0.1331
SO3	2.104	(0.011)	Quan-FP	S Ka	1.7082
K2O	1.535	(0.009)	Quan-FP	K Ka	1.4144
TiO2	0.537	(0.010)	Quan-FP	TiKa	0.9639
BaO	0.181	(0.020)	Quan-FP	BaLa	0.1597
SrO	0.058	(0.001)	Quan-FP	SrKa	2.9771
ZrO2	0.041	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	2.1847
MnO	0.037	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.2087
ZnO	0.030	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.6246
CuO	0.014	(0.001)	Quan-FP	CuKa	0.2408
Rb2O	0.008	(0.000)	Quan-FP	RbKa	0.4036
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 91 dias

Sample : r04591d
 Operator : Juliana
 Comment : pastilhas
 Group : Pastilha_10mm
 Date : 2013-11-21 16:09:37

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	58-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 99 41	
Na-Sc	Rh 15	285-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 99 39	

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	49.197	(0.044)	Quan-FP	CaKa	43.2730
SiO2	31.230	(0.057)	Quan-FP	SiKa	10.6016
Al2O3	8.283	(0.048)	Quan-FP	AlKa	1.1950
Fe2O3	4.220	(0.010)	Quan-FP	FeKa	30.3980
MgO	2.127	(0.046)	Quan-FP	MgKa	0.1227
K2O	2.054	(0.010)	Quan-FP	K Ka	1.8745
SO3	1.992	(0.010)	Quan-FP	S Ka	1.5887
TiO2	0.556	(0.009)	Quan-FP	TiKa	1.0675
BaO	0.172	(0.019)	Quan-FP	BaLa	0.1621
SrO	0.051	(0.001)	Quan-FP	SrKa	2.8098
MnO	0.045	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.2718
ZrO2	0.039	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	2.2144
ZnO	0.022	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.4904
Rb2O	0.011	(0.000)	Quan-FP	RbKa	0.5643
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 7 dias

Sample : r0557d
 Operator : Juliana
 Comment : pastilhas
 Group : Pastilha_10mm
 Date : 2013-11-21 16:30:04

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG	kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh	50	55-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 99 39	
Na-Sc	Rh	15	297-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100 40	

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	49.615	(0.044)	Quan-FP	CaKa	42.2322
SiO2	31.362	(0.057)	Quan-FP	SiKa	10.3451
Al2O3	8.053	(0.047)	Quan-FP	AlKa	1.1261
Fe2O3	4.135	(0.011)	Quan-FP	FeKa	28.6848
K2O	2.039	(0.010)	Quan-FP	K Ka	1.8035
MgO	1.948	(0.045)	Quan-FP	MgKa	0.1087
SO3	1.906	(0.010)	Quan-FP	S Ka	1.4739
TiO2	0.494	(0.009)	Quan-FP	TiKa	0.9138
BaO	0.257	(0.019)	Quan-FP	BaLa	0.2342
ZrO2	0.059	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	3.2172
SrO	0.055	(0.001)	Quan-FP	SrKa	2.9133
MnO	0.043	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.2504
ZnO	0.023	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.4812
Rb2O	0.010	(0.000)	Quan-FP	RbKa	0.5368
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 28 dias

Sample : r05528d
 Operator : Juliana
 Comment : pastilhas
 Group : Pastilha_10mm
 Date : 2013-11-21 16:02:46

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	58-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	41
Na-Sc	Rh 15	276-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	39

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	52.114	(0.046)	Quan-FP	CaKa	46.0307
SiO2	27.554	(0.055)	Quan-FP	SiKa	9.2367
Al2O3	7.556	(0.047)	Quan-FP	AlKa	1.0604
Fe2O3	6.036	(0.012)	Quan-FP	FeKa	41.7962
SO3	2.167	(0.011)	Quan-FP	S Ka	1.7645
MgO	1.993	(0.047)	Quan-FP	MgKa	0.1113
K2O	1.733	(0.010)	Quan-FP	K Ka	1.6043
TiO2	0.488	(0.009)	Quan-FP	TiKa	0.9101
BaO	0.183	(0.017)	Quan-FP	BaLa	0.1676
MnO	0.082	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.4774
SrO	0.042	(0.001)	Quan-FP	SrKa	2.1272
ZrO2	0.040	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	2.0802
Rb2O	0.012	(0.000)	Quan-FP	RbKa	0.6062
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 91 dias

Sample : r05591d

Operator : Juliana

Comment : pastilhas

Group : Pastilha_10mm

Date : 2013-11-21 16:36:40

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG	kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	59-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	40	
Na-Sc	Rh 15	295-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 99	40	

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	49.749	(0.044)	Quan-FP	CaKa	42.9277
SiO2	31.415	(0.057)	Quan-FP	SiKa	10.5239
Al2O3	8.167	(0.047)	Quan-FP	AlKa	1.1620
Fe2O3	3.901	(0.010)	Quan-FP	FeKa	27.4888
K2O	2.032	(0.010)	Quan-FP	K Ka	1.8234
SO3	1.981	(0.010)	Quan-FP	S Ka	1.5546
MgO	1.916	(0.045)	Quan-FP	MgKa	0.1086
TiO2	0.477	(0.009)	Quan-FP	TiKa	0.8929
BaO	0.182	(0.018)	Quan-FP	BaLa	0.1675
SrO	0.051	(0.001)	Quan-FP	SrKa	2.7625
ZrO2	0.044	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	2.4100
MnO	0.042	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.2452
ZnO	0.023	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.4980
CuO	0.012	(0.001)	Quan-FP	CuKa	0.2111
Rb2O	0.009	(0.000)	Quan-FP	RbKa	0.4692
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 7 dias

Sample : r0657d
 Operator : Juliana
 Comment : pastilhas
 Group : Pastilha_10mm
 Date : 2013-11-21 16:16:27

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG	kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh	50	58-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	40
Na-Sc	Rh	15	285-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	39

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	49.961	(0.045)	Quan-FP	CaKa	43.4215
SiO2	30.865	(0.057)	Quan-FP	SiKa	10.3882
Al2O3	8.103	(0.048)	Quan-FP	AlKa	1.1560
Fe2O3	4.123	(0.010)	Quan-FP	FeKa	29.1441
K2O	2.051	(0.010)	Quan-FP	K Ka	1.8565
MgO	2.042	(0.045)	Quan-FP	MgKa	0.1163
SO3	1.992	(0.010)	Quan-FP	S Ka	1.5790
TiO2	0.504	(0.009)	Quan-FP	TiKa	0.9482
BaO	0.188	(0.019)	Quan-FP	BaLa	0.1742
SrO	0.054	(0.001)	Quan-FP	SrKa	2.9427
MnO	0.043	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.2506
ZrO2	0.039	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	2.1365
ZnO	0.025	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.5447
Rb2O	0.010	(0.000)	Quan-FP	RbKa	0.5183
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 28 dias

Sample : r06528d
 Operator : Juliana
 Comment : pastilhas
 Group : Pastilha_10mm
 Date : 2013-11-21 16:23:15

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	58-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 99	40
Na-Sc	Rh 15	285-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	40

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	53.562	(0.047)	Quan-FP	CaKa	46.2315
SiO2	28.195	(0.055)	Quan-FP	SiKa	9.3923
Al2O3	7.728	(0.047)	Quan-FP	AlKa	1.0823
Fe2O3	3.816	(0.010)	Quan-FP	FeKa	25.8036
SO3	2.119	(0.010)	Quan-FP	S Ka	1.6969
MgO	2.106	(0.047)	Quan-FP	MgKa	0.1172
K2O	1.639	(0.010)	Quan-FP	K Ka	1.4909
TiO2	0.612	(0.009)	Quan-FP	TiKa	1.0942
SrO	0.056	(0.001)	Quan-FP	SrKa	2.9403
ZrO2	0.048	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	2.5345
MnO	0.046	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.2618
V2O5	0.035	(0.005)	Quan-FP	V Ka	0.0804
ZnO	0.030	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.6170
Rb2O	0.008	(0.000)	Quan-FP	RbKa	0.4211
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 91 dias

Sample : r06591d

Operator : Juliana

Comment : pastilhas

Group : Pastilha_10mm

Date : 2013-11-21 15:55:57

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	58-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 99	40
Na-Sc	Rh 15	285-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	39

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	50.757	(0.045)	Quan-FP	CaKa	43.8517
SiO2	29.917	(0.056)	Quan-FP	SiKa	9.9462
Al2O3	7.713	(0.047)	Quan-FP	AlKa	1.0797
Fe2O3	4.607	(0.011)	Quan-FP	FeKa	31.9505
MgO	2.227	(0.048)	Quan-FP	MgKa	0.1246
SO3	1.948	(0.010)	Quan-FP	S Ka	1.5380
K2O	1.910	(0.010)	Quan-FP	K Ka	1.7219
TiO2	0.523	(0.009)	Quan-FP	TiKa	0.9684
BaO	0.193	(0.018)	Quan-FP	BaLa	0.1757
SrO	0.053	(0.001)	Quan-FP	SrKa	2.7689
MnO	0.053	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.3043
ZrO2	0.051	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	2.7542
ZnO	0.024	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.4917
CuO	0.016	(0.001)	Quan-FP	CuKa	0.2907
Rb2O	0.010	(0.000)	Quan-FP	RbKa	0.4894
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 7 dias

Sample : 500457d
 Operator : Juliana
 Comment : pastilhas
 Group : Pastilha_10mm_Metal
 Date : 2013-11-21 12:18:41

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG	kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh	50	59-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	40
Na-Sc	Rh	15	265-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	38

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	56.546	(0.050)	Quan-FP	CaKa	49.2655
SiO2	25.328	(0.054)	Quan-FP	SiKa	8.5558
Al2O3	7.420	(0.048)	Quan-FP	Al Ka	1.0452
Fe2O3	3.470	(0.009)	Quan-FP	FeKa	23.0357
SO3	2.557	(0.012)	Quan-FP	S Ka	2.1285
MgO	2.251	(0.050)	Quan-FP	MgKa	0.1260
K2O	1.699	(0.010)	Quan-FP	K Ka	1.5870
TiO2	0.449	(0.009)	Quan-FP	TiKa	0.7877
BaO	0.154	(0.018)	Quan-FP	BaLa	0.1325
SrO	0.060	(0.001)	Quan-FP	SrKa	3.1031
ZnO	0.033	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.6687
MnO	0.024	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.1340
Rb2O	0.008	(0.000)	Quan-FP	RbKa	0.4149
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 28 dias

Sample : 5004528d
 Operator : Juliana
 Comment : pastilhas
 Group : Pastilha_10mm_Metal
 Date : 2013-11-21 12:39:23

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG	kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh	50	59-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	40
Na-Sc	Rh	15	286-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	41

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	57.404	(0.048)	Quan-FP	CaKa	50.0001
SiO2	25.107	(0.051)	Quan-FP	SiKa	8.4927
Al2O3	6.704	(0.045)	Quan-FP	AlKa	0.9372
Fe2O3	3.499	(0.009)	Quan-FP	FeKa	22.9533
SO3	2.647	(0.011)	Quan-FP	S Ka	2.2064
MgO	2.309	(0.048)	Quan-FP	MgKa	0.1283
K2O	1.500	(0.009)	Quan-FP	K Ka	1.4010
TiO2	0.430	(0.008)	Quan-FP	TiKa	0.7473
BaO	0.222	(0.017)	Quan-FP	BaLa	0.1893
SrO	0.065	(0.001)	Quan-FP	SrKa	3.3113
ZnO	0.032	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.6526
ZrO2	0.031	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	1.6221
MnO	0.030	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.1647
CuO	0.011	(0.001)	Quan-FP	CuKa	0.1954
Rb2O	0.008	(0.000)	Quan-FP	RbKa	0.4020
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 91 dias

Sample : 5004591d
 Operator : Juliana
 Comment : pastilhas
 Group : Pastilha_10mm_Metal
 Date : 2013-11-21 12:59:38

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG	kV	uA	FI	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	57	Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	39
Na-Sc	Rh 15	276	Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	39

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	56.941	(0.049)	Quan-FP	CaKa	48.4536
SiO2	25.861	(0.054)	Quan-FP	SiKa	8.5479
Al2O3	6.819	(0.046)	Quan-FP	AlKa	0.9340
Fe2O3	3.319	(0.009)	Quan-FP	FeKa	21.3964
SO3	2.624	(0.012)	Quan-FP	S Ka	2.1221
MgO	2.266	(0.049)	Quan-FP	MgKa	0.1234
K2O	1.421	(0.009)	Quan-FP	K Ka	1.2911
TiO2	0.411	(0.009)	Quan-FP	TiKa	0.7001
BaO	0.186	(0.018)	Quan-FP	BaLa	0.1562
SrO	0.070	(0.001)	Quan-FP	SrKa	3.5027
ZnO	0.032	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.6386
ZrO2	0.029	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	1.4781
CuO	0.012	(0.001)	Quan-FP	CuKa	0.2040
Rb2O	0.008	(0.000)	Quan-FP	RbKa	0.4065
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 7 dias

Sample : 500557d
 Operator : Juliana
 Comment : pastilhas
 Group : Pastilha_10mm_Metal
 Date : 2013-11-21 12:25:28

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	59-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 99	40
Na-Sc	Rh 15	286-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 99	41

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	58.291	(0.048)	Quan-FP	CaKa	50.7210
SiO2	24.258	(0.051)	Quan-FP	SiKa	8.1827
Al2O3	6.963	(0.046)	Quan-FP	AlKa	0.9723
Fe2O3	3.437	(0.009)	Quan-FP	FeKa	22.3314
SO3	2.514	(0.011)	Quan-FP	S Ka	2.1089
MgO	2.226	(0.048)	Quan-FP	MgKa	0.1233
K2O	1.527	(0.009)	Quan-FP	K Ka	1.4336
TiO2	0.421	(0.009)	Quan-FP	TiKa	0.7238
BaO	0.225	(0.018)	Quan-FP	BaLa	0.1901
SrO	0.068	(0.001)	Quan-FP	SrKa	3.4029
ZnO	0.033	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.6707
MnO	0.030	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.1625
Rb2O	0.008	(0.000)	Quan-FP	RbKa	0.3736
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 28 dias

Sample : 5005528d
 Operator : Juliana
 Comment : pastilhas
 Group : Pastilha_10mm_Metal
 Date : 2013-11-21 12:46:24

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	55-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	38
Na-Sc	Rh 15	275-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 99	40

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	58.128	(0.049)	Quan-FP	CaKa	50.3135
SiO2	24.662	(0.052)	Quan-FP	SiKa	8.2922
Al2O3	6.788	(0.046)	Quan-FP	AlKa	0.9439
Fe2O3	3.392	(0.010)	Quan-FP	FeKa	22.0251
SO3	2.568	(0.011)	Quan-FP	S Ka	2.1363
MgO	2.313	(0.049)	Quan-FP	MgKa	0.1275
K2O	1.465	(0.009)	Quan-FP	K Ka	1.3650
TiO2	0.514	(0.009)	Quan-FP	TiKa	0.8800
SrO	0.072	(0.001)	Quan-FP	SrKa	3.6187
ZnO	0.039	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.7720
MnO	0.031	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.1688
V2O5	0.018	(0.005)	Quan-FP	V Ka	0.0403
Rb2O	0.009	(0.000)	Quan-FP	RbKa	0.4334
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 91 dias

Sample : 5005591d
 Operator : Juliana
 Comment : pastilhas
 Group : Pastilha_10mm
 Date : 2013-11-21 15:35:40

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG	kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	59-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	40	
Na-Sc	Rh 15	276-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	39	

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	55.231	(0.048)	Quan-FP	CaKa	47.0379
SiO2	27.111	(0.055)	Quan-FP	SiKa	8.9744
Al2O3	6.974	(0.046)	Quan-FP	AlKa	0.9604
Fe2O3	3.533	(0.009)	Quan-FP	FeKa	23.1926
SO3	2.552	(0.012)	Quan-FP	S Ka	2.0452
MgO	2.230	(0.049)	Quan-FP	MgKa	0.1222
K2O	1.568	(0.010)	Quan-FP	K Ka	1.4171
TiO2	0.438	(0.009)	Quan-FP	TiKa	0.7604
BaO	0.174	(0.018)	Quan-FP	BaLa	0.1484
SrO	0.072	(0.001)	Quan-FP	SrKa	3.6445
ZrO2	0.034	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	1.7428
ZnO	0.033	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.6590
MnO	0.029	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.1566
CuO	0.013	(0.001)	Quan-FP	CuKa	0.2197
Rb2O	0.009	(0.000)	Quan-FP	RbKa	0.4592
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 7 dias

Sample : 500657d
 Operator : Juliana
 Comment : pastilhas
 Group : Pastilha_10mm_Metal
 Date : 2013-11-21 12:32:31

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	58-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	41
Na-Sc	Rh 15	256-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	39

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	61.586	(0.052)	Quan-FP	CaKa	54.6997
SiO2	21.873	(0.050)	Quan-FP	SiKa	7.5112
Al2O3	6.202	(0.045)	Quan-FP	AlKa	0.8705
Fe2O3	3.221	(0.009)	Quan-FP	FeKa	20.6338
SO3	2.678	(0.012)	Quan-FP	S Ka	2.3322
MgO	2.494	(0.052)	Quan-FP	MgKa	0.1389
K2O	1.139	(0.009)	Quan-FP	K Ka	1.1034
TiO2	0.463	(0.009)	Quan-FP	TiKa	0.7835
BaO	0.184	(0.018)	Quan-FP	BaLa	0.1534
SrO	0.063	(0.001)	Quan-FP	SrKa	3.1562
ZnO	0.036	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.7093
ZrO2	0.033	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	1.6715
MnO	0.026	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.1381
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 28 dias

Sample : 5006528d
 Operator : Juliana
 Comment : pastilhas
 Group : Pastilha_10mm_Metal
 Date : 2013-11-21 12:53:02

Measurement Condition

 Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG	kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh	50	54-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 99	39
Na-Sc	Rh	15	256-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	39

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	62.101	(0.053)	Quan-FP	CaKa	54.5295
SiO2	21.793	(0.050)	Quan-FP	SiKa	7.4235
Al2O3	5.895	(0.045)	Quan-FP	AlKa	0.8178
Fe2O3	3.337	(0.010)	Quan-FP	FeKa	21.0569
SO3	2.708	(0.012)	Quan-FP	S Ka	2.3390
MgO	2.418	(0.052)	Quan-FP	TiKa	0.1327
K2O	1.103	(0.009)	Quan-FP	MgKa	1.0597
TiO2	0.501	(0.009)	Quan-FP	K Ka	0.8326
SrO	0.067	(0.001)	Quan-FP	SrKa	3.2916
V2O5	0.040	(0.005)	Quan-FP	V Ka	0.0864
ZnO	0.036	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.7107
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 91 dias

Sample : 5006591d

Operator : Juliana

Comment : pastilhas

Group : Pastilha_10mm

Date : 2013-11-21 15:42:28

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	54-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	39
Na-Sc	Rh 15	265-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 99	39

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	60.455	(0.051)	Quan-FP	CaKa	53.1533
SiO2	23.172	(0.051)	Quan-FP	SiKa	7.8638
Al2O3	6.152	(0.045)	Quan-FP	AlKa	0.8544
Fe2O3	3.251	(0.010)	Quan-FP	FeKa	20.8295
SO3	2.629	(0.012)	Quan-FP	S Ka	2.2351
MgO	2.583	(0.052)	Quan-FP	MgKa	0.1426
K2O	1.030	(0.008)	Quan-FP	K Ka	0.9792
TiO2	0.419	(0.009)	Quan-FP	TiKa	0.7092
BaO	0.172	(0.018)	Quan-FP	BaLa	0.1430
SrO	0.075	(0.001)	Quan-FP	SrKa	3.7315
ZnO	0.033	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.6608
ZrO2	0.029	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	1.4526
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 7 dias

Sample : 1000457d

Operator : Juliana

Comment : pastilhas

Group : Pastilha_10mm

Date : 2014-03-28 10:09:40

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte TG kV uA FI Acq.(keV) Anal.(keV) Time(sec) DT(%)

Ti-U Rh 50 73-Auto ---- 0 - 40 0.0 - 40.0 Live - 100 41Na-Sc Rh 15 331-Auto ---- 0 - 20 0.0 - 4.4 Live - 99 40

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	64.308	(0.054)	Quan-FP	CaKa	42.6286
SiO2	20.664	(0.049)	Quan-FP	SiKa	5.4173
Al2O3	4.906	(0.042)	Quan-FP	AlKa	0.5170
Fe2O3	4.103	(0.011)	Quan-FP	FeKa	19.1060
SO3	2.254	(0.011)	Quan-FP	S Ka	1.5122
K2O	1.512	(0.010)	Quan-FP	K Ka	1.1194
MgO	1.280	(0.043)	Quan-FP	MgKa	0.0526
TiO2	0.600	(0.010)	Quan-FP	TiKa	0.7430
BaO	0.182	(0.021)	Quan-FP	BaLa	0.1109
SrO	0.085	(0.001)	Quan-FP	SrKa	3.0179
ZnO	0.043	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.6158
MnO	0.035	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.1350
CuO	0.018	(0.001)	Quan-FP	CuKa	0.2188
Rb2O	0.009	(0.001)	Quan-FP	RbKa	0.3095
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 28 dias

Sample : 10004528d

Operator : Juliana

Comment : pastilhas

Group : Pastilha_10mm

Date : 2014-03-28 10:23:25

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte TG kV uA FI Acq.(keV) Anal.(keV) Time(sec) DT(%)

Ti-U Rh 50 70-Auto ---- 0 - 40 0.0 - 40.0 Live - 99 39Na-Sc Rh 15 320-Auto ---- 0 - 20 0.0 - 4.4 Live - 99 39

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	67.774	(0.056)	Quan-FP	CaKa	45.2612
SiO2	18.497	(0.047)	Quan-FP	SiKa	4.8970
Al2O3	4.231	(0.040)	Quan-FP	AlKa	0.4451
Fe2O3	3.715	(0.011)	Quan-FP	FeKa	16.8727
SO3	2.378	(0.011)	Quan-FP	S Ka	1.6415
MgO	1.315	(0.044)	Quan-FP	MgKa	0.0538
K2O	1.216	(0.009)	Quan-FP	K Ka	0.9201
TiO2	0.505	(0.010)	Quan-FP	TiKa	0.6080
BaO	0.203	(0.020)	Quan-FP	BaLa	0.1202
SrO	0.094	(0.001)	Quan-FP	SrKa	3.2721
ZnO	0.045	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.6325
CuO	0.017	(0.001)	Quan-FP	CuKa	0.2061
Rb2O	0.009	(0.001)	Quan-FP	RbKa	0.2972
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 91 dias

Sample : 10004591d

Operator : Juliana

Comment : pastilhas

Group : Pastilha_10mm

Date : 2014-03-28 10:16:34

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte TG kV uA FI Acq.(keV) Anal.(keV) Time(sec) DT(%)

Ti-U Rh 50 71-Auto ---- 0 - 40 0.0 - 40.0 Live - 100 40Na-Sc Rh 15 307-Auto ---- 0 - 20 0.0 - 4.4 Live - 100 40

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	67.337	(0.056)	Quan-FP	CaKa	47.2844
SiO2	19.194	(0.048)	Quan-FP	SiKa	5.3448
Al2O3	4.222	(0.039)	Quan-FP	AlKa	0.4677
Fe2O3	3.587	(0.010)	Quan-FP	FeKa	17.2088
SO3	2.452	(0.011)	Quan-FP	S Ka	1.7668
MgO	1.304	(0.043)	Quan-FP	MgKa	0.0561
K2O	1.114	(0.009)	Quan-FP	K Ka	0.8818
TiO2	0.482	(0.010)	Quan-FP	TiKa	0.6115
BaO	0.151	(0.019)	Quan-FP	BaLa	0.0943
SrO	0.088	(0.001)	Quan-FP	SrKa	3.2478
ZnO	0.044	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.6584
CuO	0.018	(0.001)	Quan-FP	CuKa	0.2202
Rb2O	0.008	(0.001)	Quan-FP	RbKa	0.2739
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 7 dias

Sample : 1000557d

Operator : Juliana

Comment : pastilhas

Group : Pastilha_10mm

Date : 2014-03-28 10:57:22

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte TG kV uA FI Acq.(keV) Anal.(keV) Time(sec) DT(%)

Ti-U Rh 50 71-Auto ---- 0 - 40 0.0 - 40.0 Live - 99 40Na-Sc Rh 15 307-Auto ---- 0 - 20 0.0 - 4.4 Live - 99 39

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	67.959	(0.056)	Quan-FP	CaKa	47.5446
SiO2	17.969	(0.047)	Quan-FP	SiKa	4.9690
Al2O3	4.321	(0.040)	Quan-FP	AlKa	0.4749
Fe2O3	3.833	(0.011)	Quan-FP	FeKa	18.1730
SO3	2.463	(0.011)	Quan-FP	S Ka	1.7860
MgO	1.322	(0.044)	Quan-FP	MgKa	0.0565
K2O	1.224	(0.009)	Quan-FP	K Ka	0.9714
TiO2	0.443	(0.010)	Quan-FP	TiKa	0.5577
BaO	0.302	(0.019)	Quan-FP	BaLa	0.1873
SrO	0.083	(0.001)	Quan-FP	SrKa	3.0251
ZnO	0.042	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.6070
MnO	0.031	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.1233
Rb2O	0.009	(0.001)	Quan-FP	RbKa	0.3175
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 28 dias

Sample : 10005528d

Operator : Juliana

Comment : pastilhas

Group : Pastilha_10mm

Date : 2014-03-28 10:30:01

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte TG kV uA FI Acq.(keV) Anal.(keV) Time(sec) DT(%)

Ti-U Rh 50 73-Auto ---- 0 - 40 0.0 - 40.0 Live - 100 41Na-Sc Rh 15 310-Auto ---- 0 - 20 0.0 - 4.4 Live - 100 41

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	69.387	(0.056)	Quan-FP	CaKa	49.1820
SiO2	17.290	(0.045)	Quan-FP	SiKa	4.8527
Al2O3	4.030	(0.039)	Quan-FP	AlKa	0.4476
Fe2O3	3.623	(0.010)	Quan-FP	FeKa	17.1918
SO3	2.445	(0.011)	Quan-FP	S Ka	1.8096
MgO	1.303	(0.043)	Quan-FP	MgKa	0.0562
K2O	1.079	(0.009)	Quan-FP	K Ka	0.8724
TiO2	0.436	(0.009)	Quan-FP	TiKa	0.5474
BaO	0.240	(0.019)	Quan-FP	BaLa	0.1483
SrO	0.082	(0.001)	Quan-FP	SrKa	3.0057
ZnO	0.045	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.6542
ZrO2	0.022	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	0.8148
CuO	0.019	(0.001)	Quan-FP	CuKa	0.2294
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 91 dias

Sample : 10005591d

Operator : Juliana

Comment : pastilhas

Group : Pastilha_10mm

Date : 2014-03-28 10:50:31

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte	TG kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	73-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	41
Na-Sc	Rh 15	307-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	40

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	69.021	(0.056)	Quan-FP	CaKa	48.5900
SiO2	17.694	(0.046)	Quan-FP	SiKa	4.9197
Al2O3	4.110	(0.039)	Quan-FP	AlKa	0.4529
Fe2O3	3.600	(0.010)	Quan-FP	FeKa	17.0307
SO3	2.498	(0.011)	Quan-FP	S Ka	1.8249
MgO	1.366	(0.045)	Quan-FP	MgKa	0.0585
K2O	0.979	(0.009)	Quan-FP	K Ka	0.7831
TiO2	0.381	(0.009)	Quan-FP	TiKa	0.4760
BaO	0.174	(0.018)	Quan-FP	BaLa	0.1070
SrO	0.087	(0.001)	Quan-FP	SrKa	3.1850
ZnO	0.044	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.6423
MnO	0.027	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.1075
CuO	0.018	(0.001)	Quan-FP	CuKa	0.2213
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 7 dias

Sample : 1000657d

Operator : Juliana

Comment : pastilhas

Group : Pastilha_10mm

Date : 2014-03-28 10:37:04

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No
-----Analyte TG kV uA FI Acq.(keV) Anal.(keV) Time(sec) DT(%)

Ti-U Rh 50 78-Auto ---- 0 - 40 0.0 - 40.0 Live - 99 40

Na-Sc Rh 15 335-Auto ---- 0 - 20 0.0 - 4.4 Live - 100 39

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	68.694	(0.057)	Quan-FP	CaKa	43.5863
SiO2	17.632	(0.046)	Quan-FP	SiKa	4.4258
Al2O3	4.177	(0.040)	Quan-FP	AlKa	0.4158
Fe2O3	3.609	(0.011)	Quan-FP	FeKa	15.4263
SO3	2.558	(0.012)	Quan-FP	S Ka	1.6881
MgO	1.349	(0.044)	Quan-FP	MgKa	0.0522
K2O	1.114	(0.009)	Quan-FP	K Ka	0.8034
TiO2	0.456	(0.010)	Quan-FP	TiKa	0.5166
BaO	0.235	(0.020)	Quan-FP	BaLa	0.1307
SrO	0.082	(0.001)	Quan-FP	SrKa	2.6987
ZnO	0.047	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.6201
MnO	0.031	(0.002)	Quan-FP	MnKa	0.1113
CuO	0.017	(0.001)	Quan-FP	CuKa	0.1892
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 28 dias

Sample : 10006528d

Operator : Juliana

Comment : pastilhas

Group : Pastilha_10mm

Date : 2014-03-28 10:43:43

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

Analyte TG kV uA FI Acq.(keV) Anal.(keV) Time(sec) DT(%)

Ti-U Rh 50 75-Auto ---- 0 - 40 0.0 - 40.0 Live - 99 40Na-Sc Rh 15 297-Auto ---- 0 - 20 0.0 - 4.4 Live - 100 39

Quantitative Result

Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	68.848	(0.057)	Quan-FP	CaKa	48.8704
SiO2	17.770	(0.047)	Quan-FP	SiKa	4.9887
Al2O3	4.074	(0.039)	Quan-FP	AlKa	0.4530
Fe2O3	3.593	(0.010)	Quan-FP	FeKa	17.1433
SO3	2.362	(0.011)	Quan-FP	S Ka	1.7410
MgO	1.376	(0.044)	Quan-FP	MgKa	0.0595
K2O	1.070	(0.009)	Quan-FP	K Ka	0.8636
TiO2	0.466	(0.009)	Quan-FP	TiKa	0.5899
BaO	0.272	(0.019)	Quan-FP	BaLa	0.1690
SrO	0.089	(0.001)	Quan-FP	SrKa	3.2795
ZnO	0.043	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.6280
ZrO2	0.021	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	0.7926
CuO	0.015	(0.001)	Quan-FP	CuKa	0.1811
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 91 dias

Sample : 10006591d

Operator : Juliana

Comment : pastilhas

Group : Pastilha_10mm

Date : 2014-03-28 11:04:11

Measurement Condition

Instrument : EDX-720 Atmosphere : Vac. Collimator : 10(mm) Spin : No

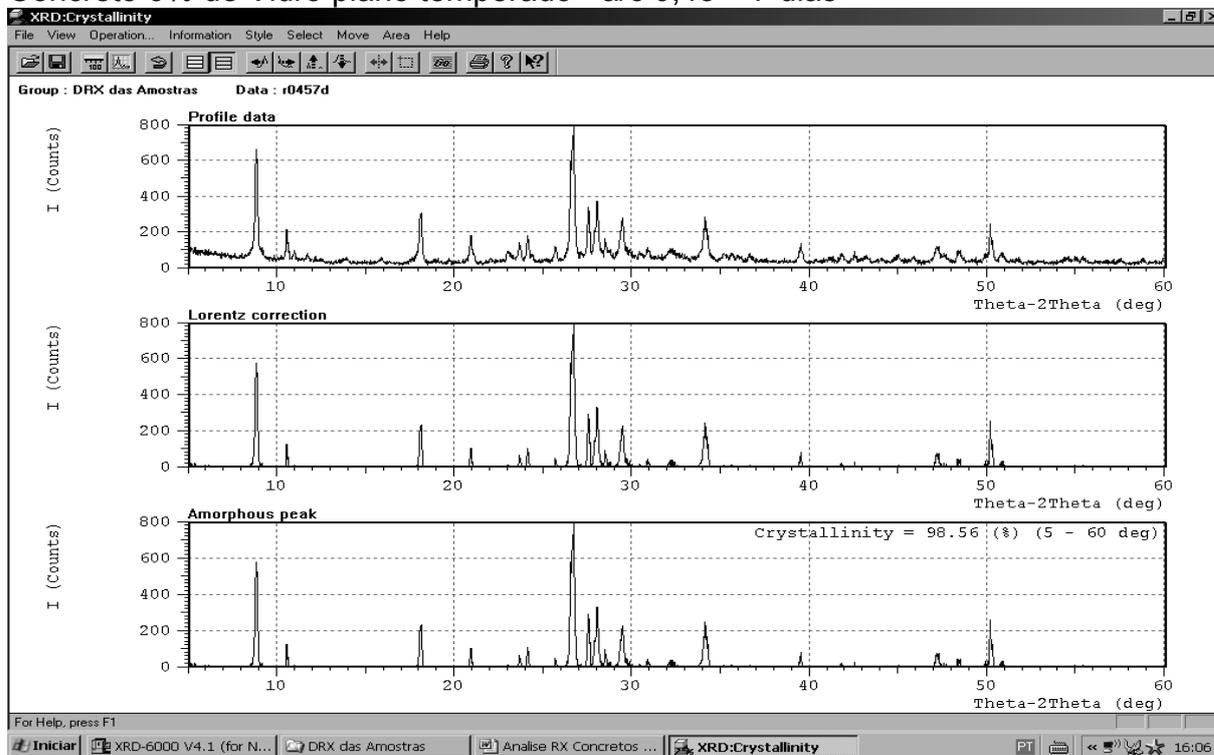
Analyte	TG kV	uA	Fl	Acq.(keV)	Anal.(keV)	Time(sec)	DT(%)
Ti-U	Rh 50	81-Auto	----	0 - 40	0.0 - 40.0	Live - 100	41
Na-Sc	Rh 15	349-Auto	----	0 - 20	0.0 - 4.4	Live - 100	41

Quantitative Result

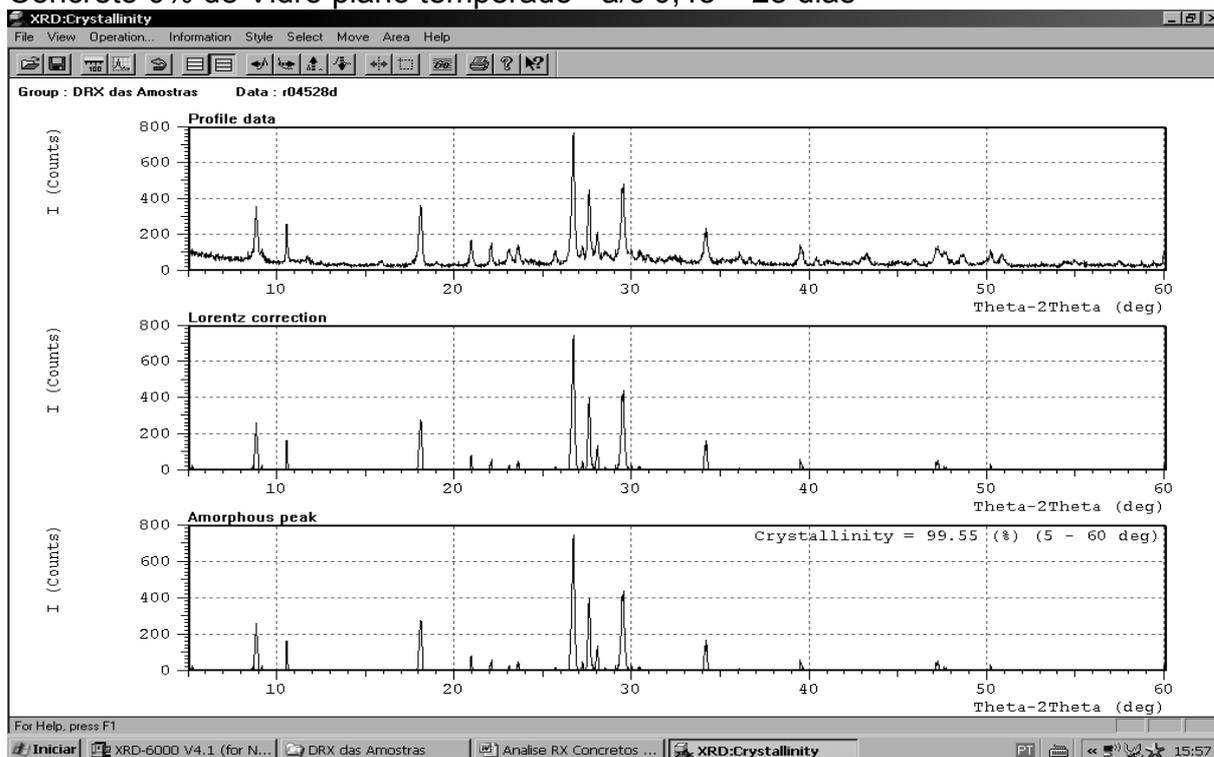
Analyte	Result %	Std.Dev.	Proc.-Calc.	Line	Int.(cps/uA)
CaO	68.816	(0.056)	Quan-FP	CaKa	43.9659
SiO2	17.729	(0.045)	Quan-FP	SiKa	4.4690
Al2O3	4.162	(0.039)	Quan-FP	AlKa	0.4161
Fe2O3	3.474	(0.010)	Quan-FP	FeKa	14.9293
SO3	2.573	(0.011)	Quan-FP	S Ka	1.7025
MgO	1.474	(0.044)	Quan-FP	MgKa	0.0573
K2O	0.948	(0.008)	Quan-FP	K Ka	0.6863
TiO2	0.451	(0.009)	Quan-FP	TiKa	0.5125
BaO	0.204	(0.019)	Quan-FP	BaLa	0.1139
SrO	0.082	(0.001)	Quan-FP	SrKa	2.7392
ZnO	0.042	(0.001)	Quan-FP	ZnKa	0.5567
ZrO2	0.030	(0.001)	Quan-FP	ZrKa	1.0131
CuO	0.015	(0.001)	Quan-FP	CuKa	0.1711
C	0.000	(-----)	Fix	-----	-----

APÊNDICE D - Grau de cristalinidade das amostras de massa cimentícia desagregada

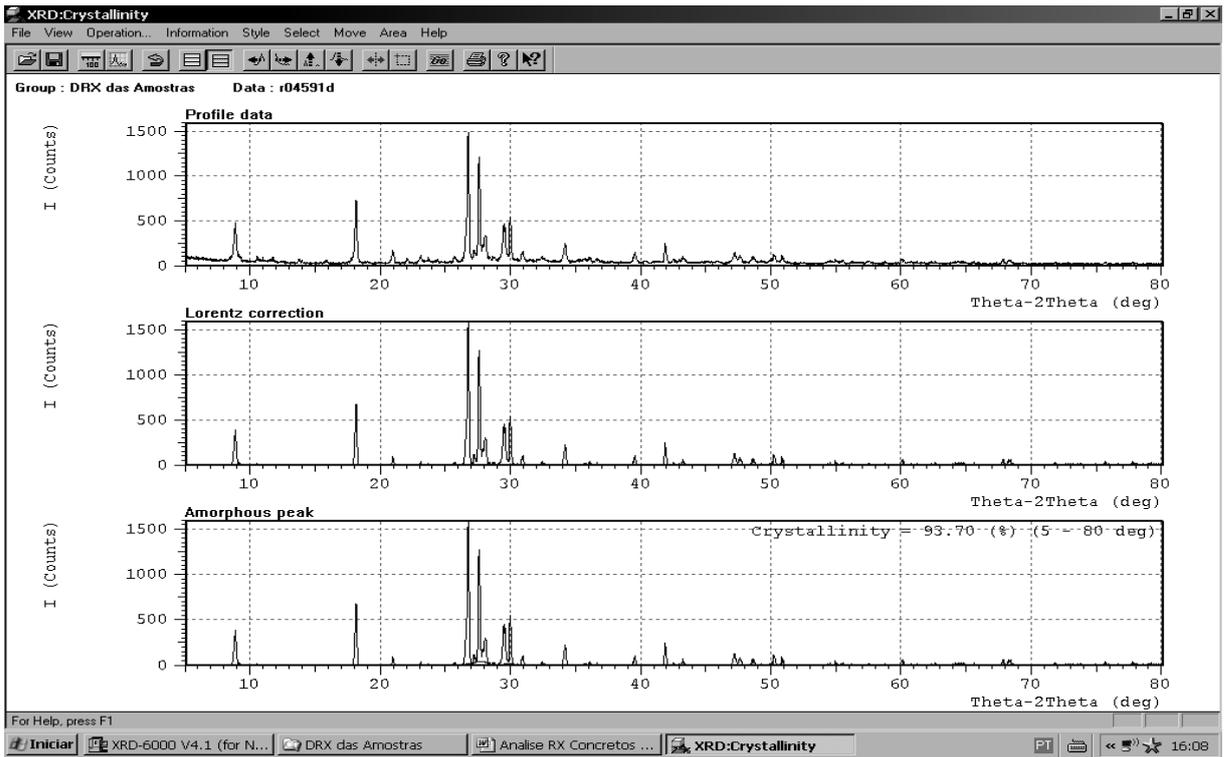
Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 7 dias



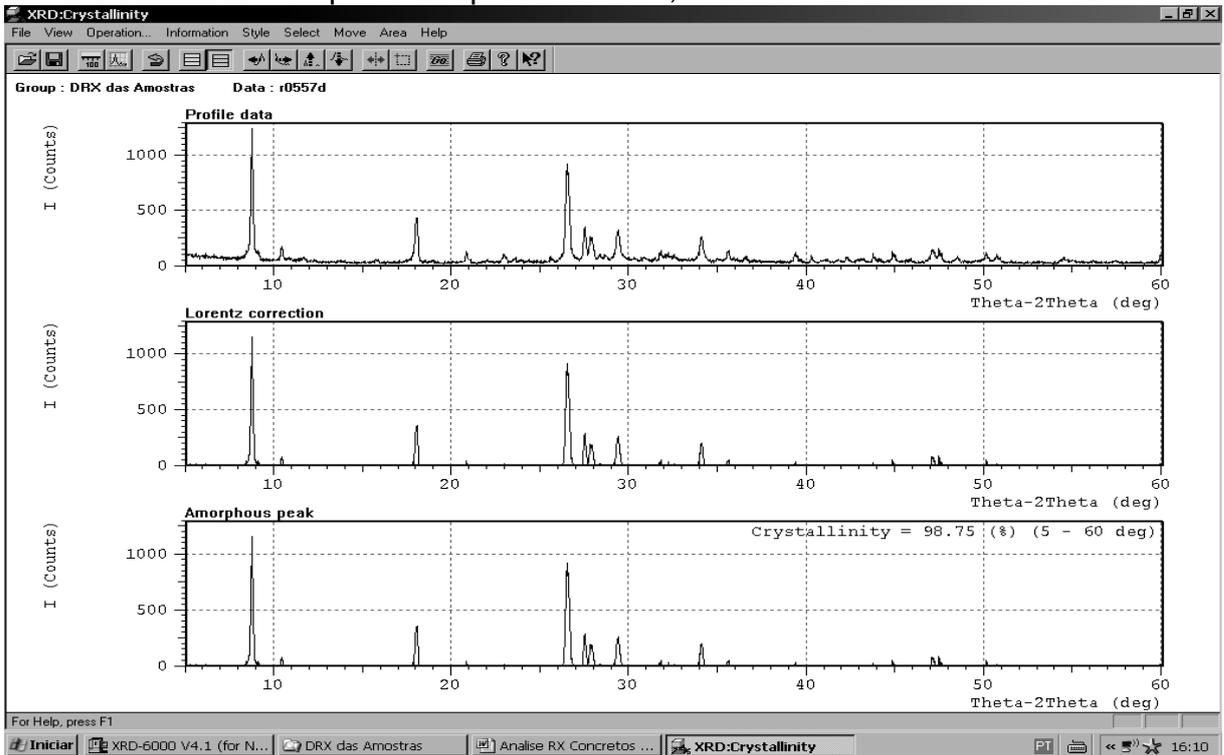
Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 28 dias



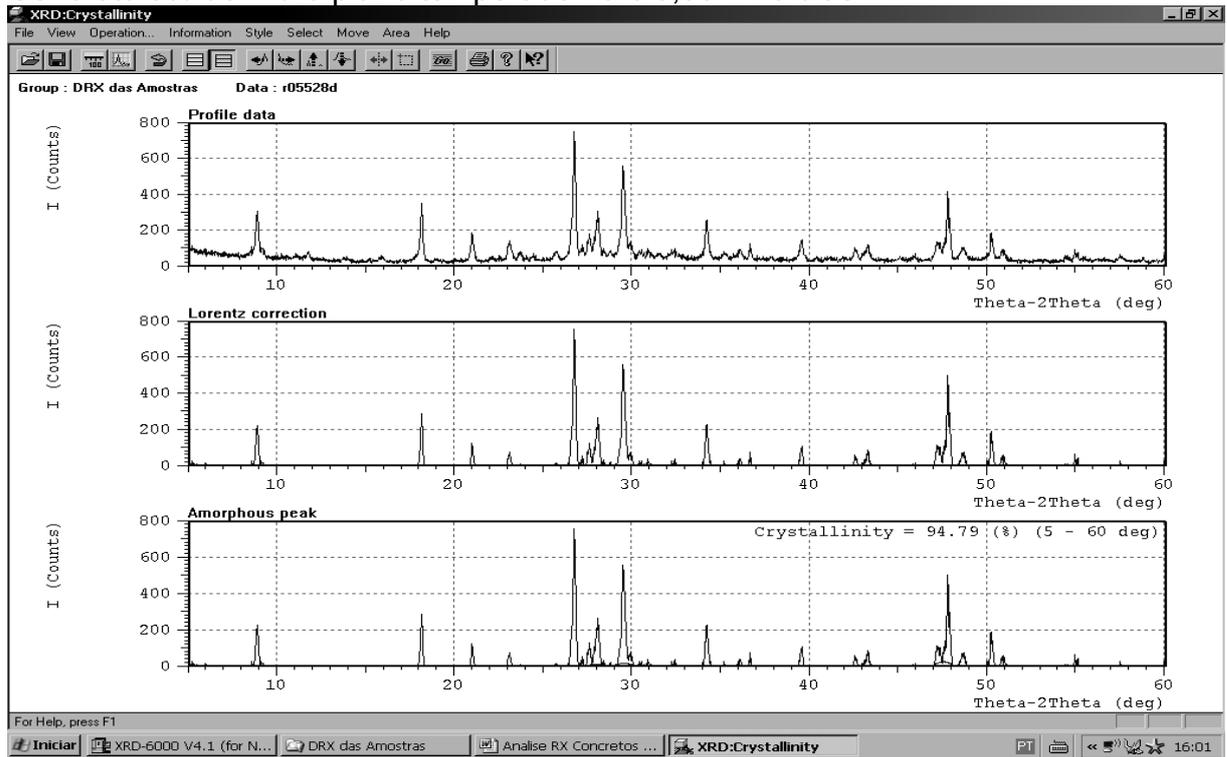
Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 91 dias



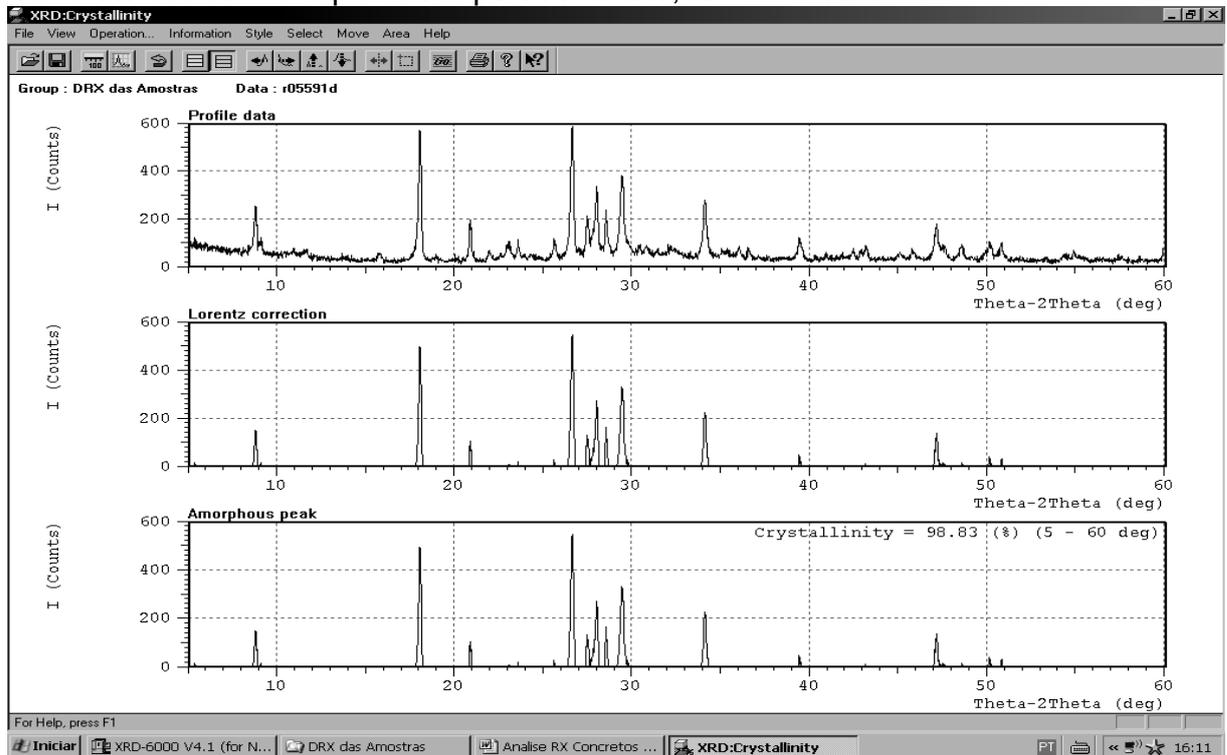
Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 7 dias



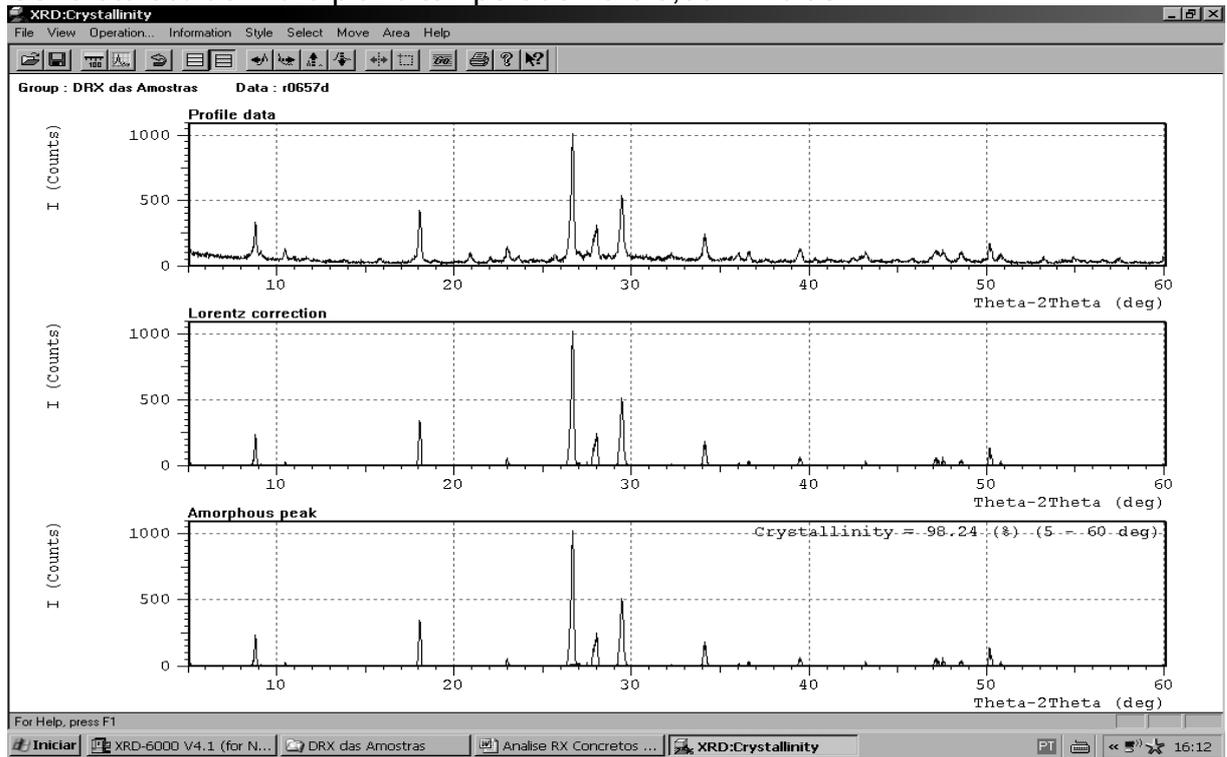
Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 28 dias



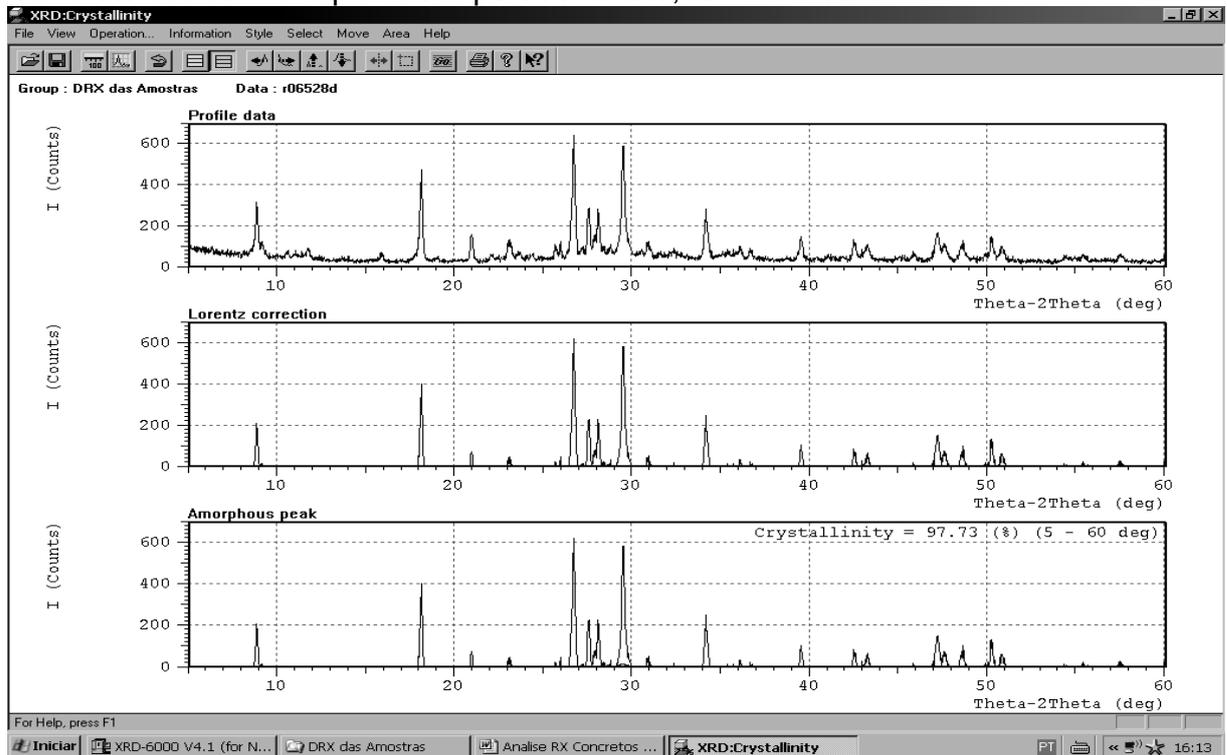
Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 91 dias



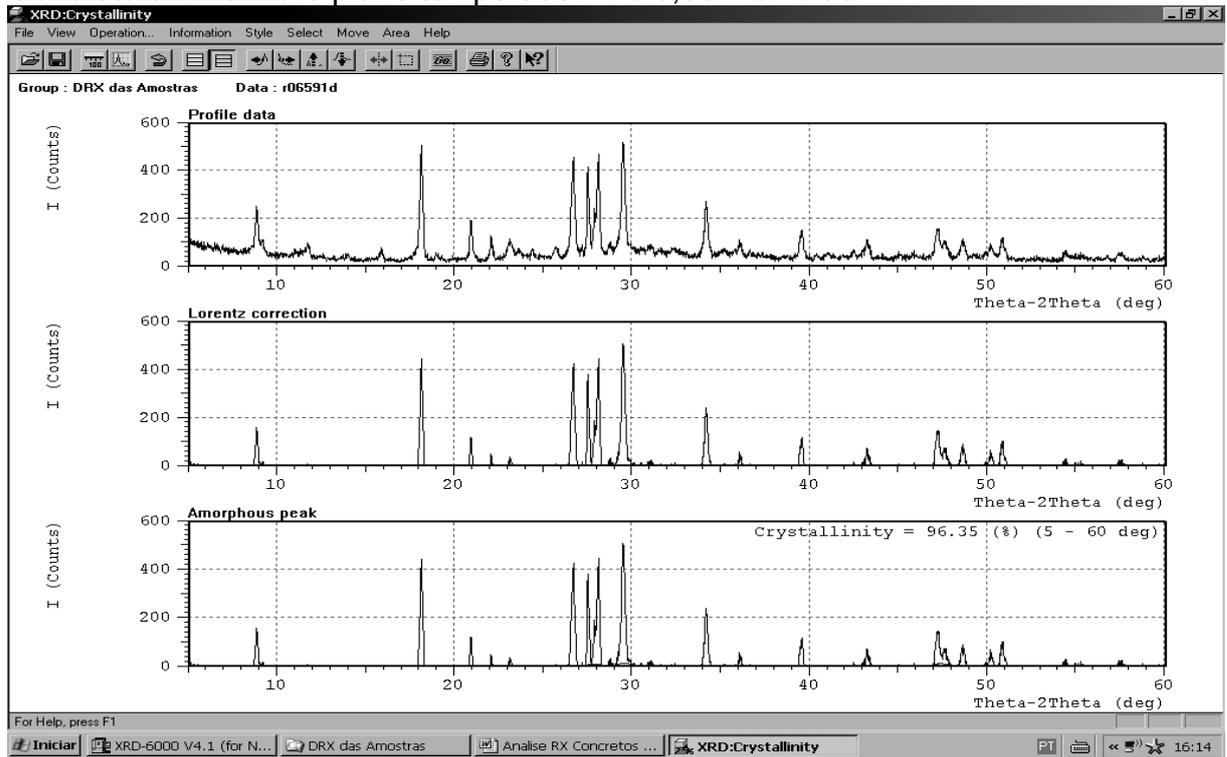
Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 7 dias



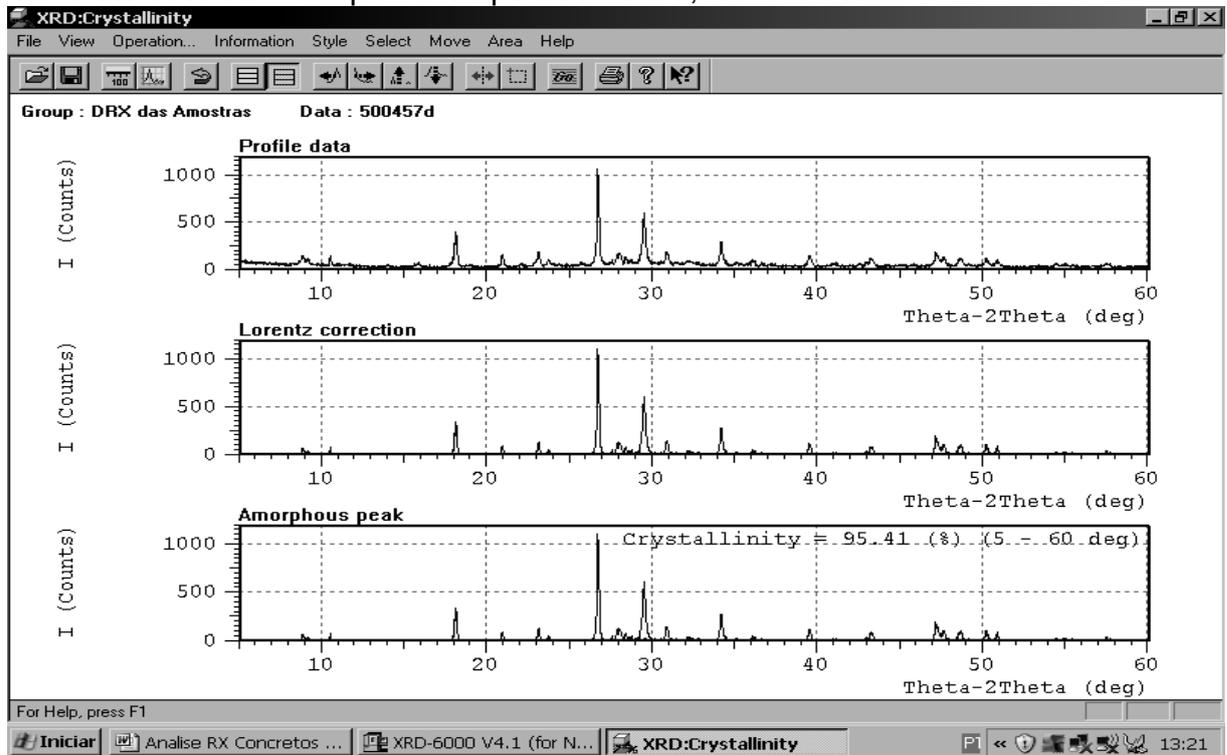
Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 28 dias



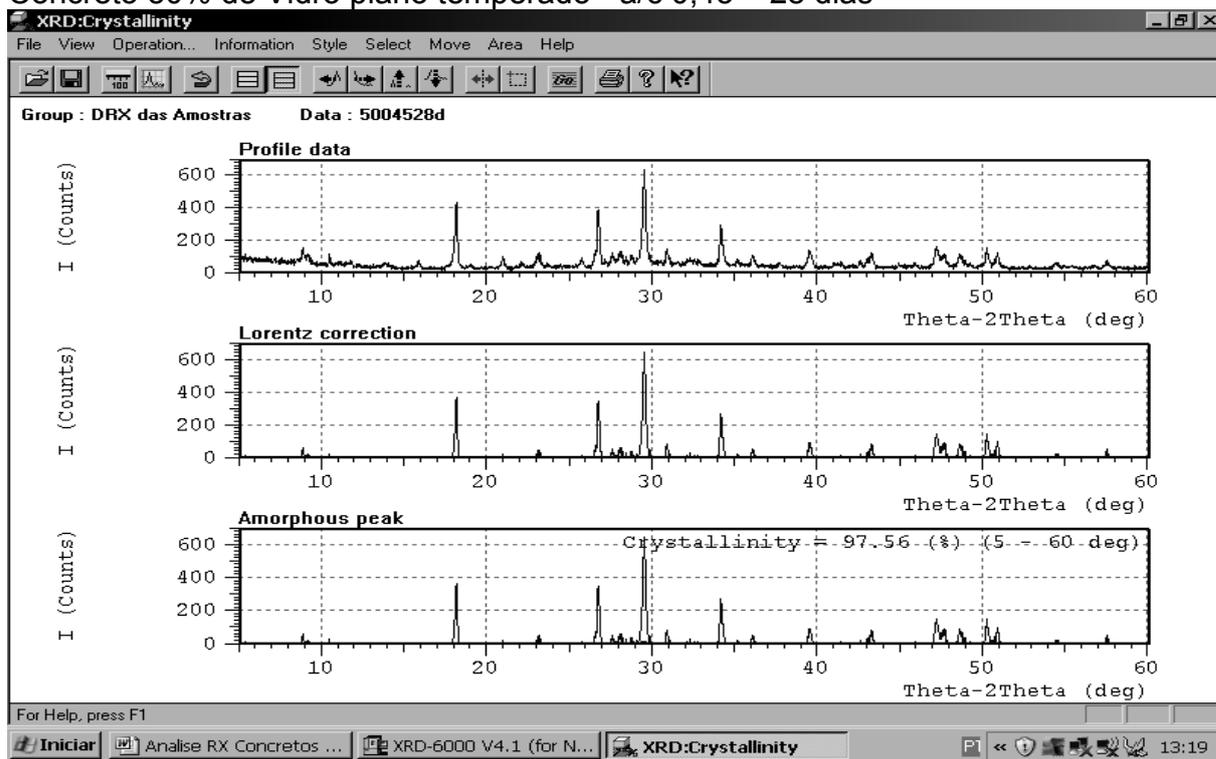
Concreto 0% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 91 dias



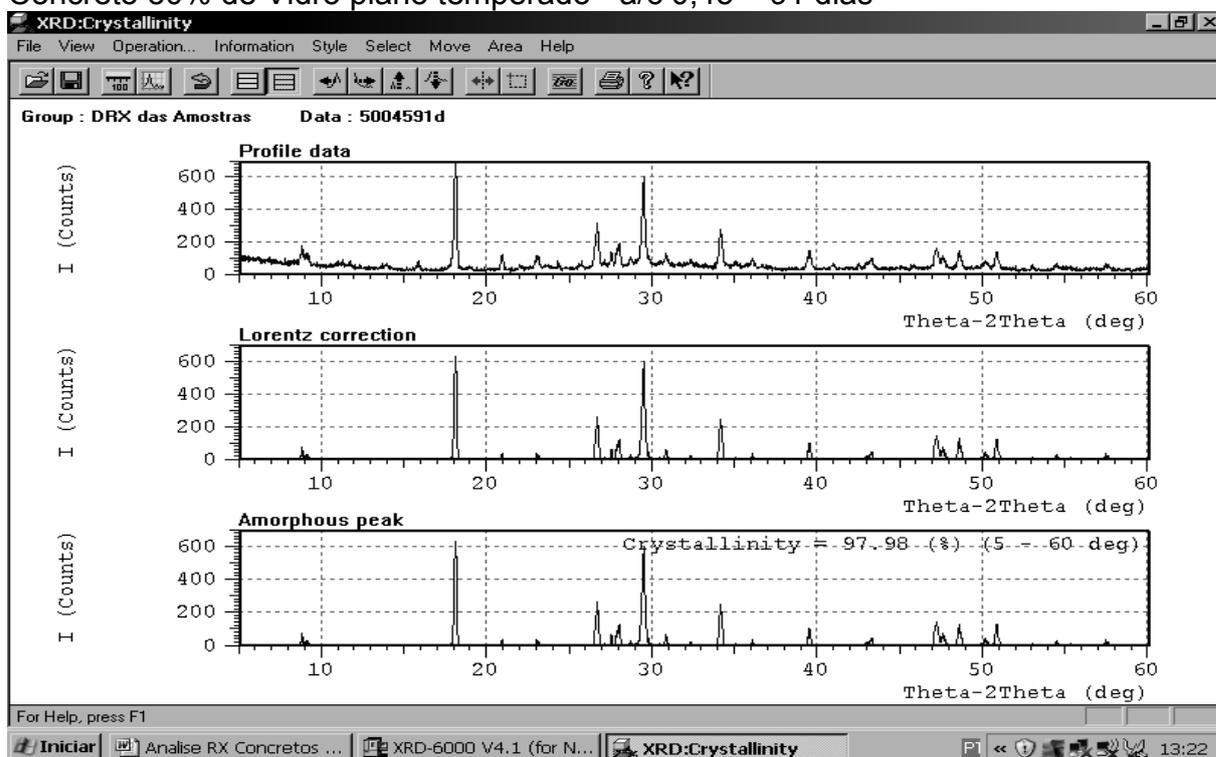
Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 7 dias



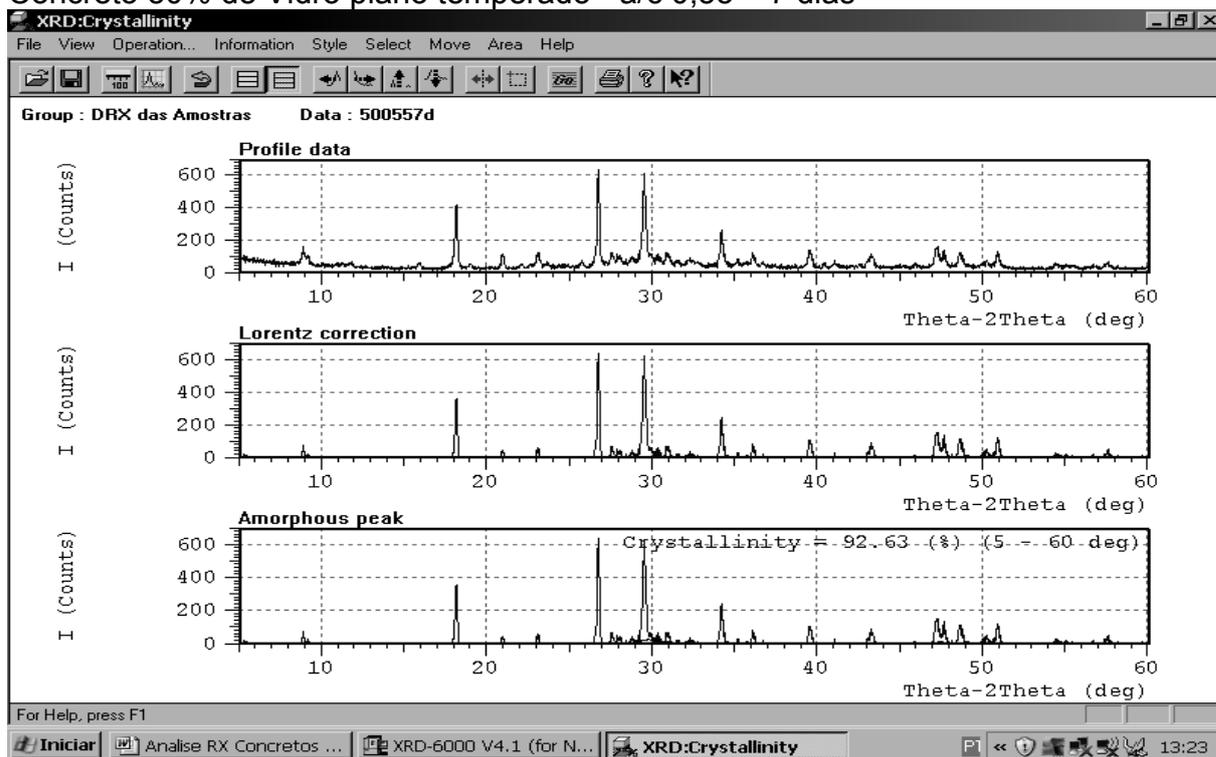
Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 28 dias



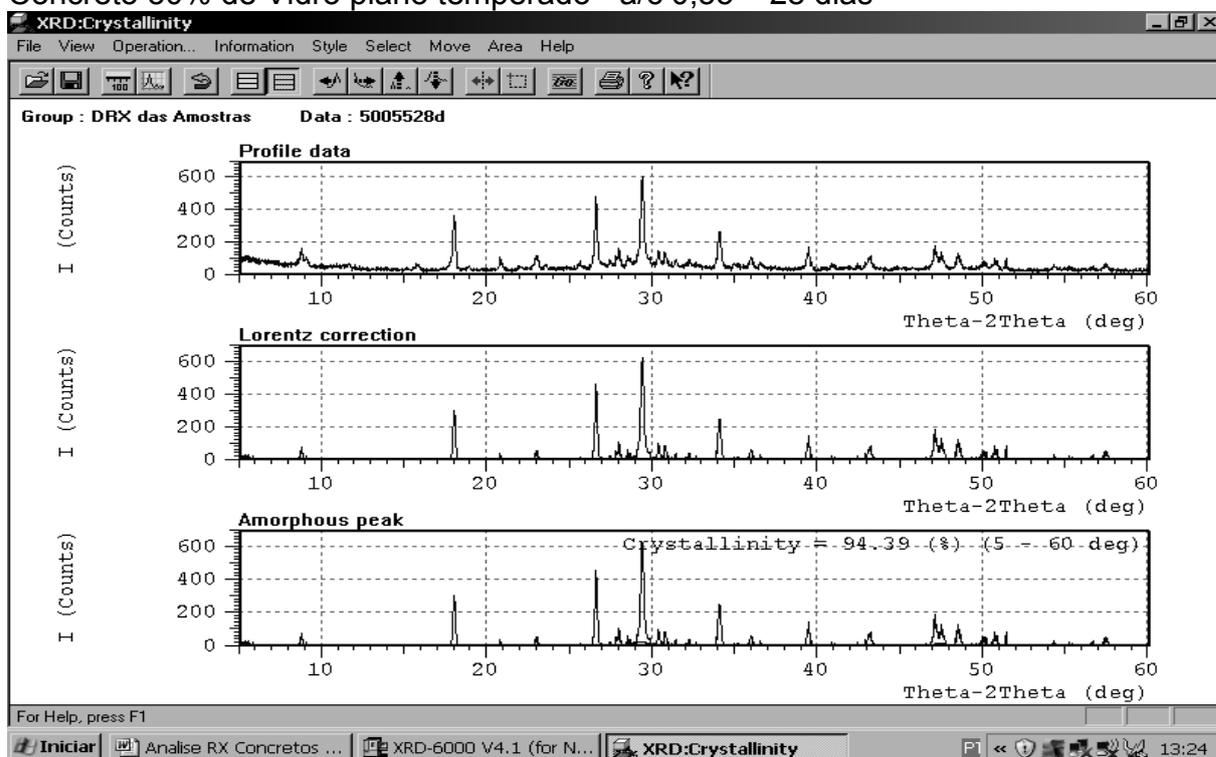
Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 91 dias



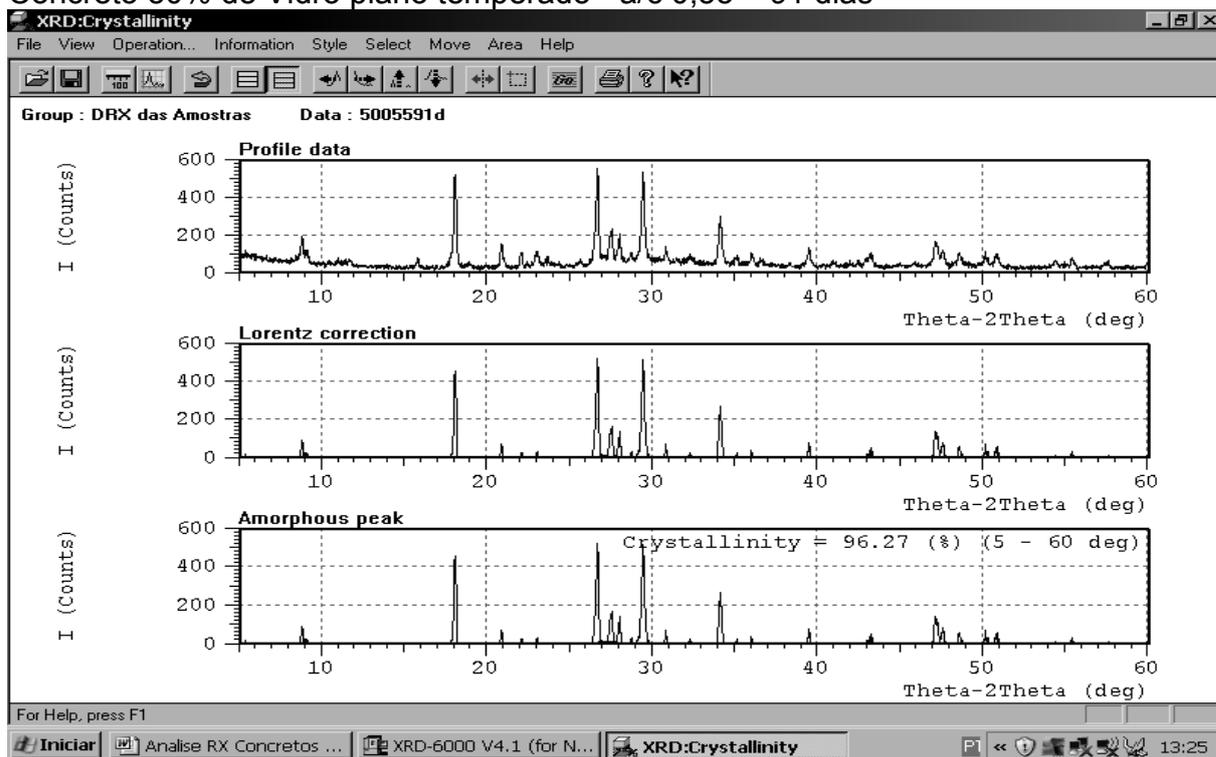
Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 7 dias



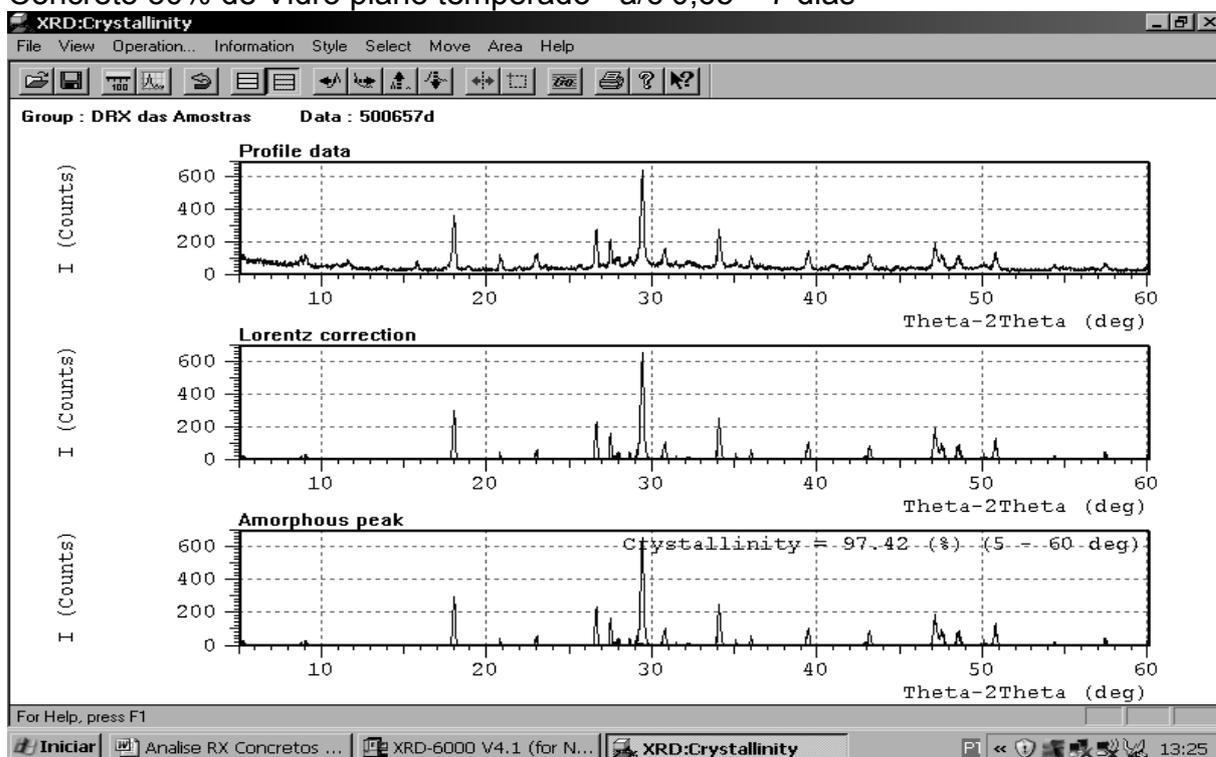
Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 28 dias



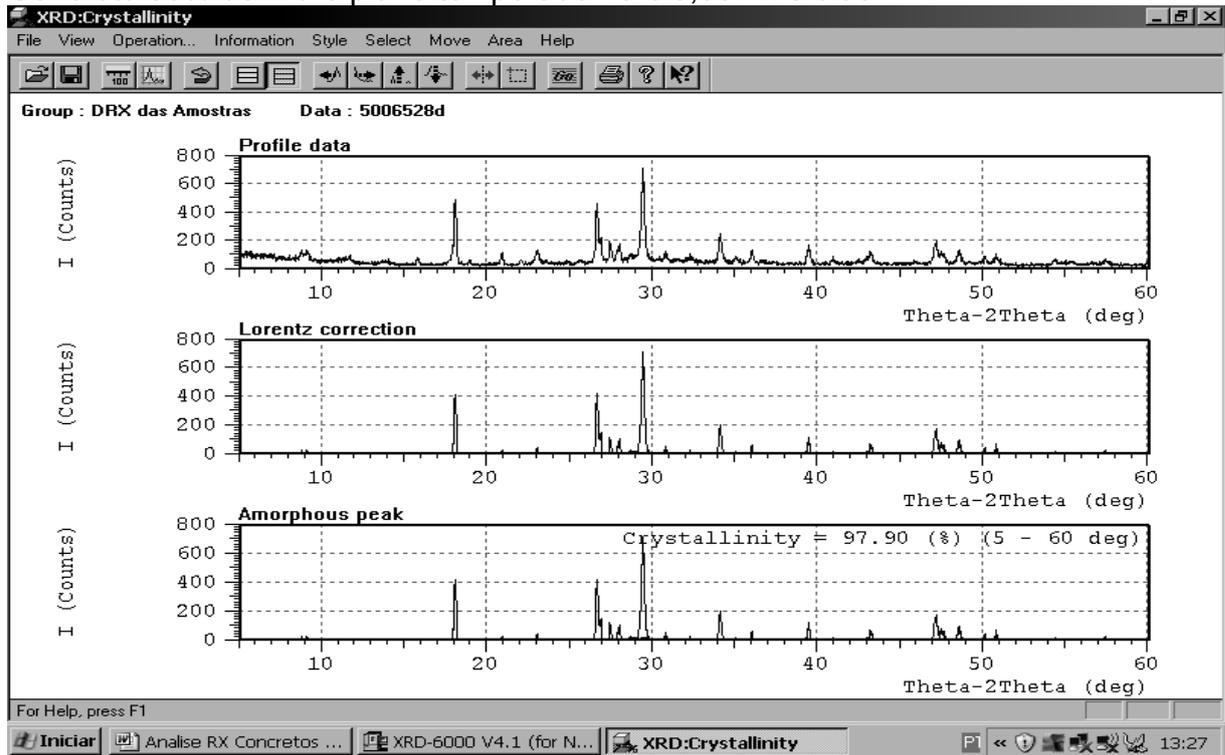
Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 91 dias



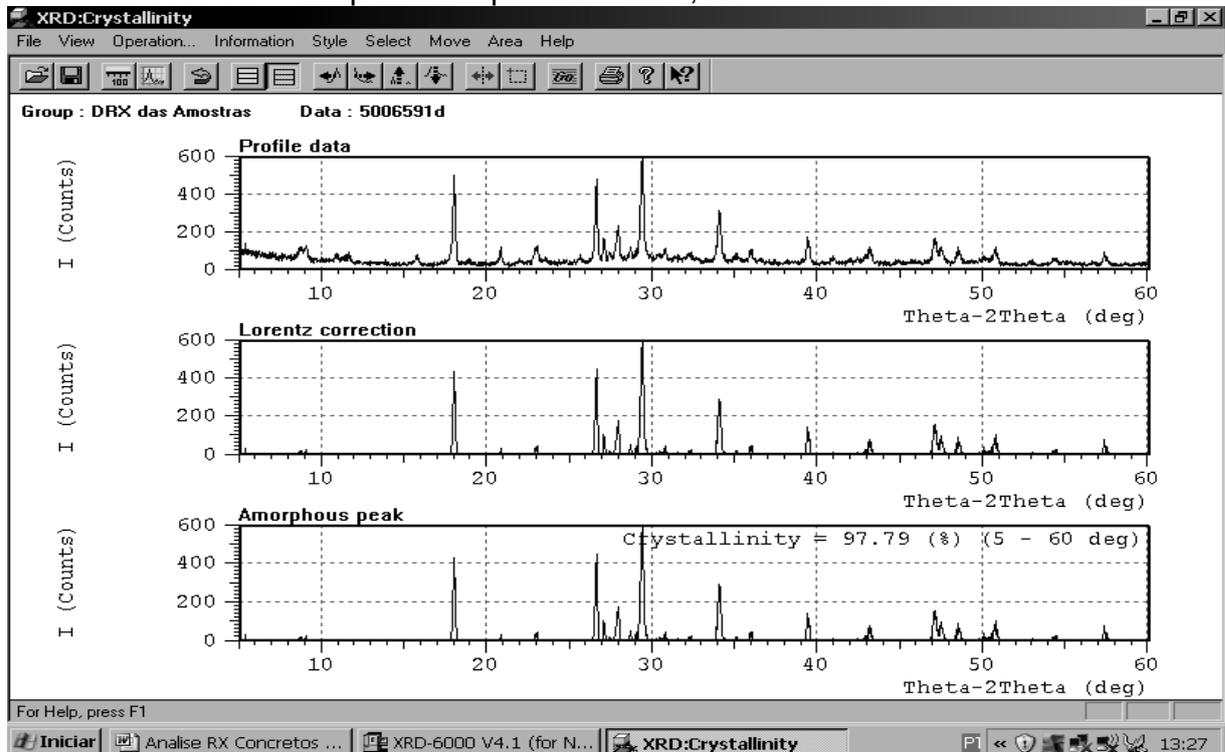
Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 7 dias



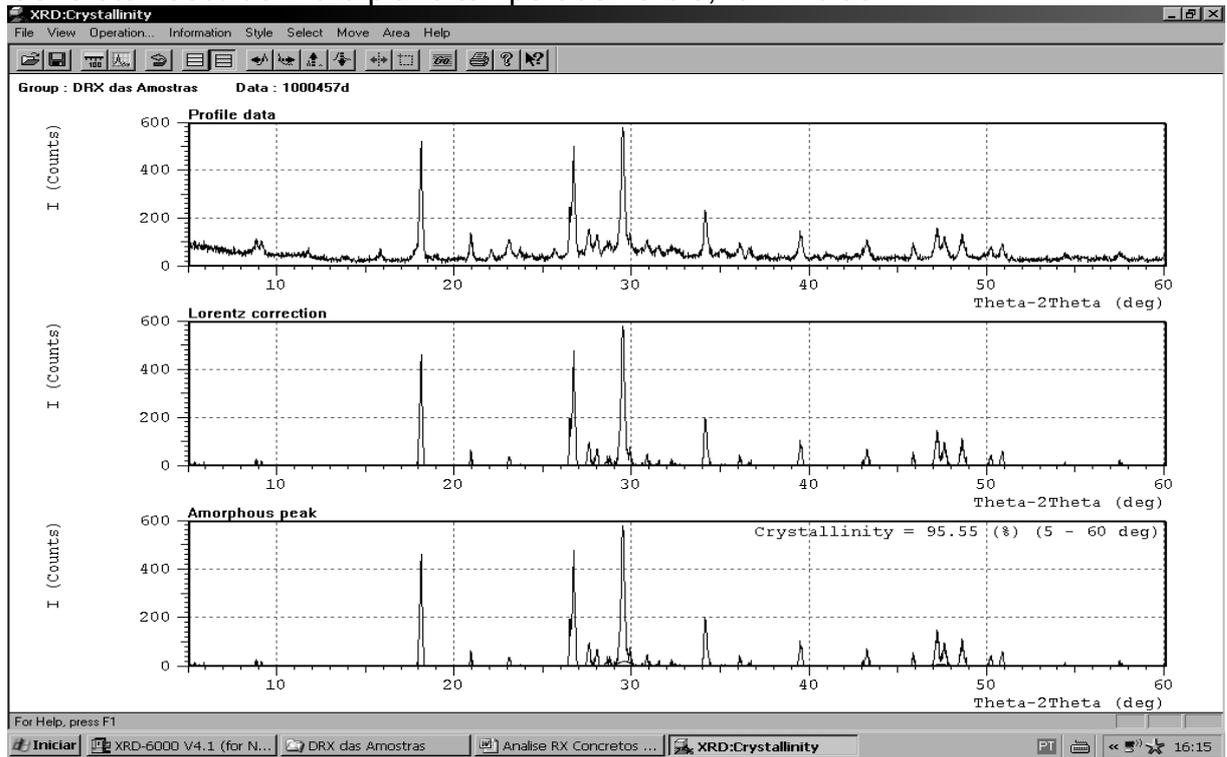
Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 28 dias



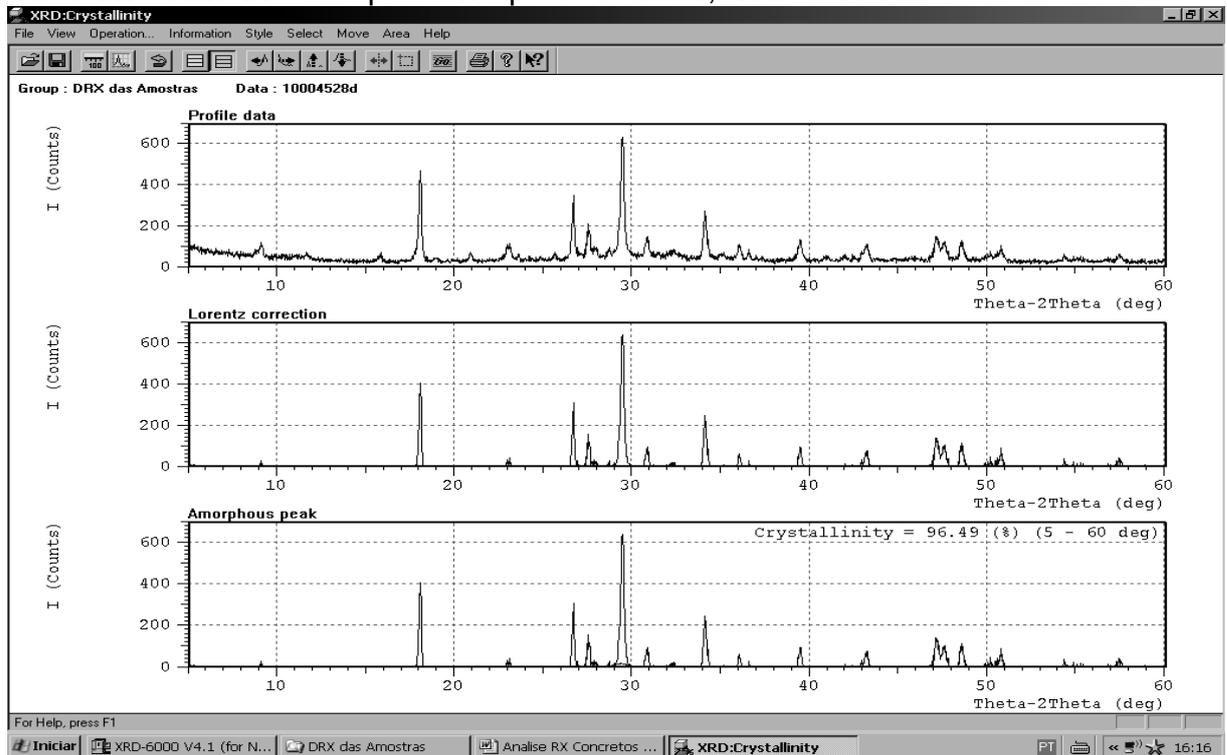
Concreto 50% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 91 dias



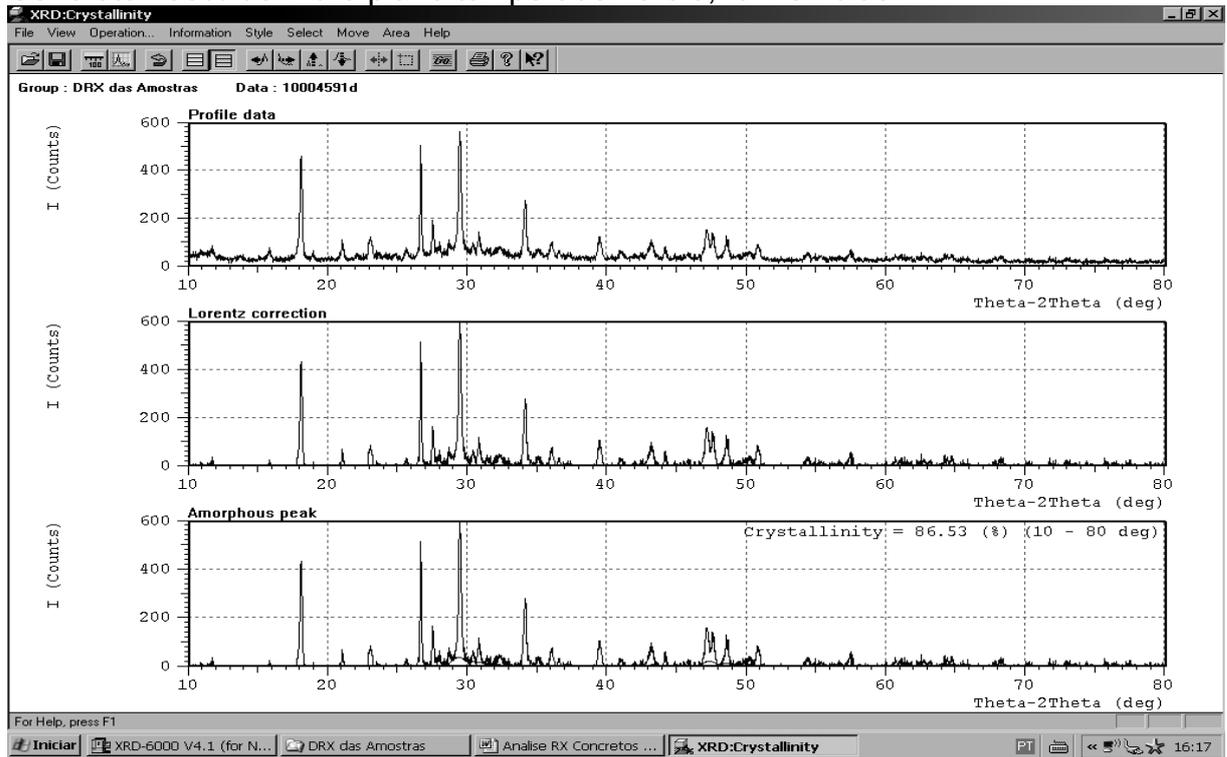
Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 7 dias



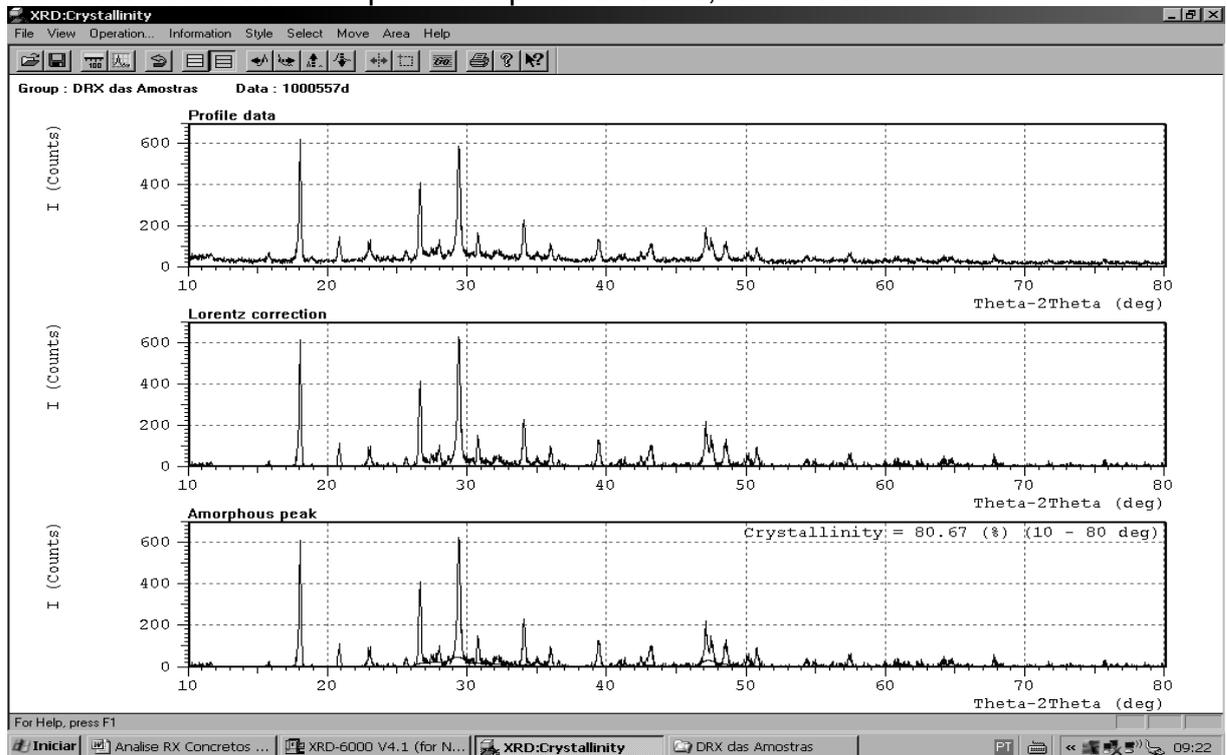
Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 28 dias



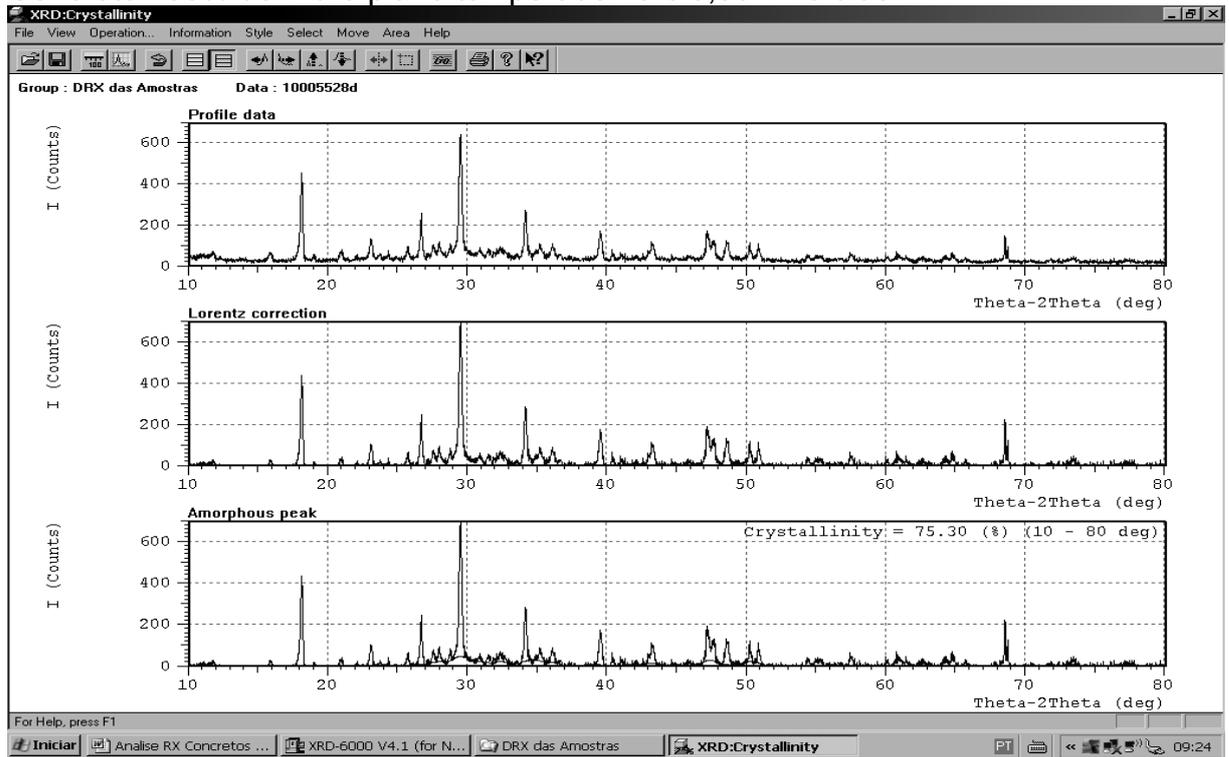
Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,45 – 91 dias



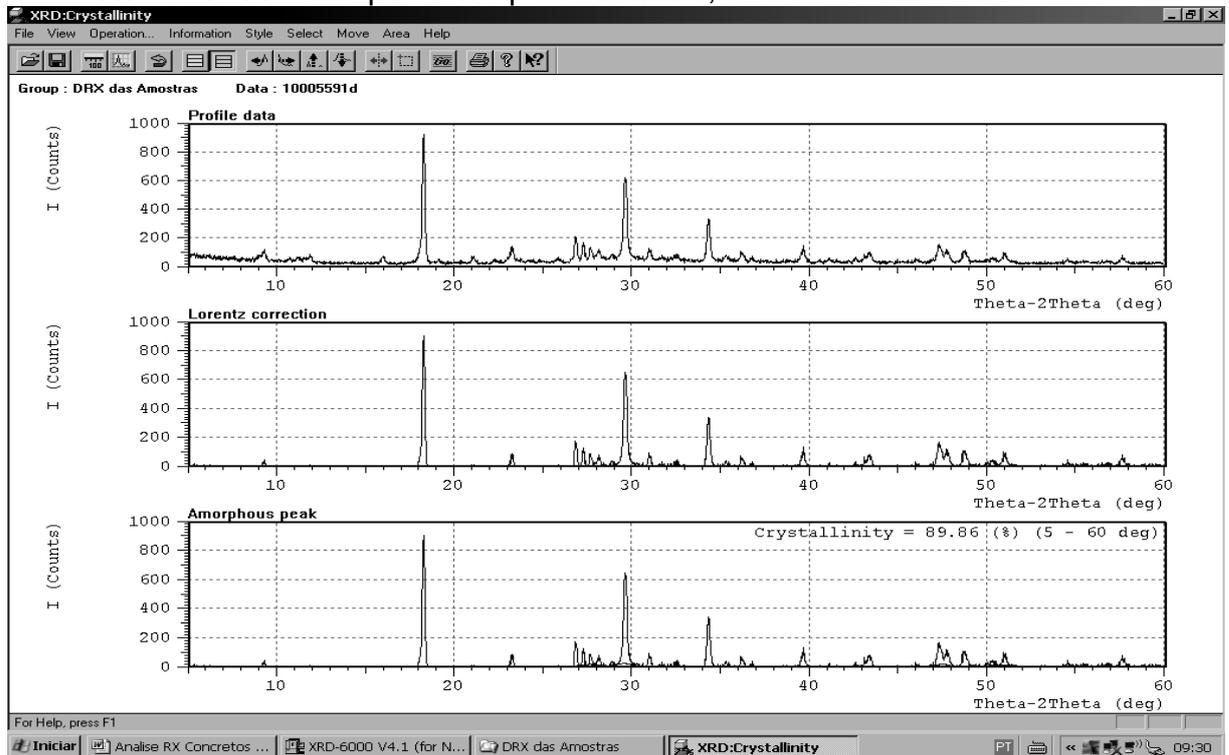
Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 7 dias



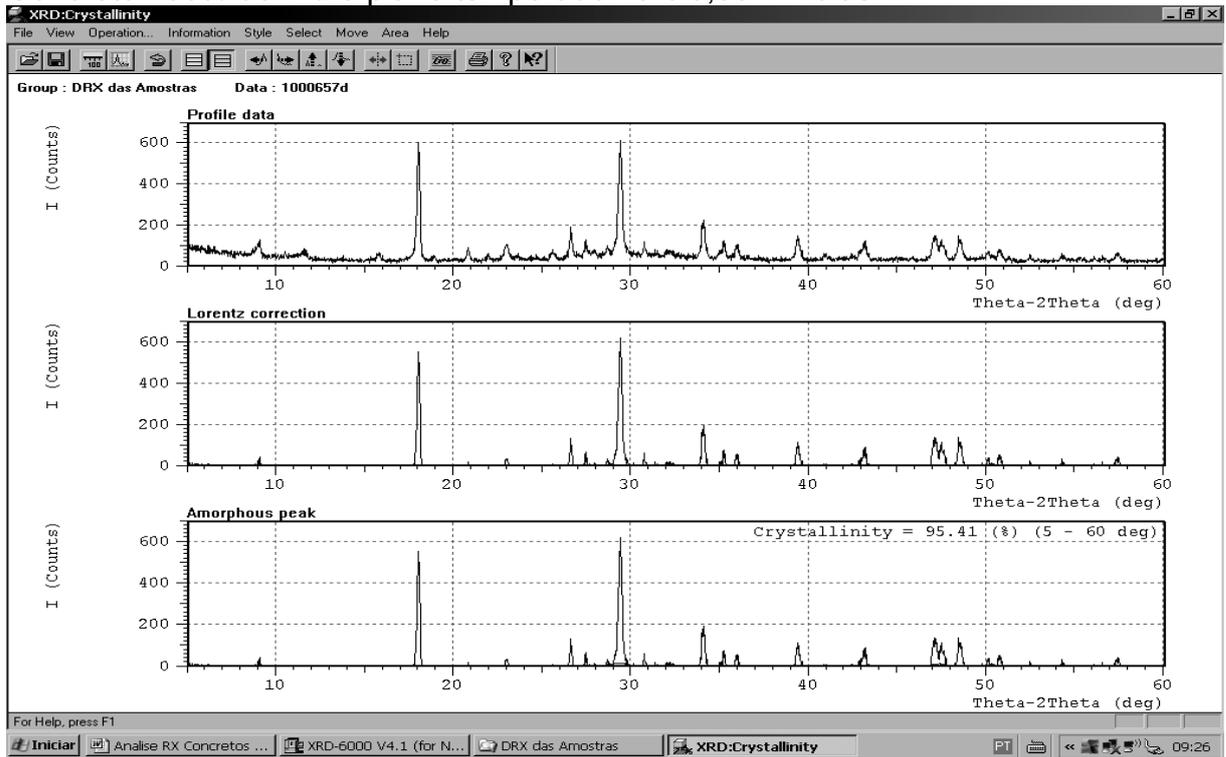
Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 28 dias



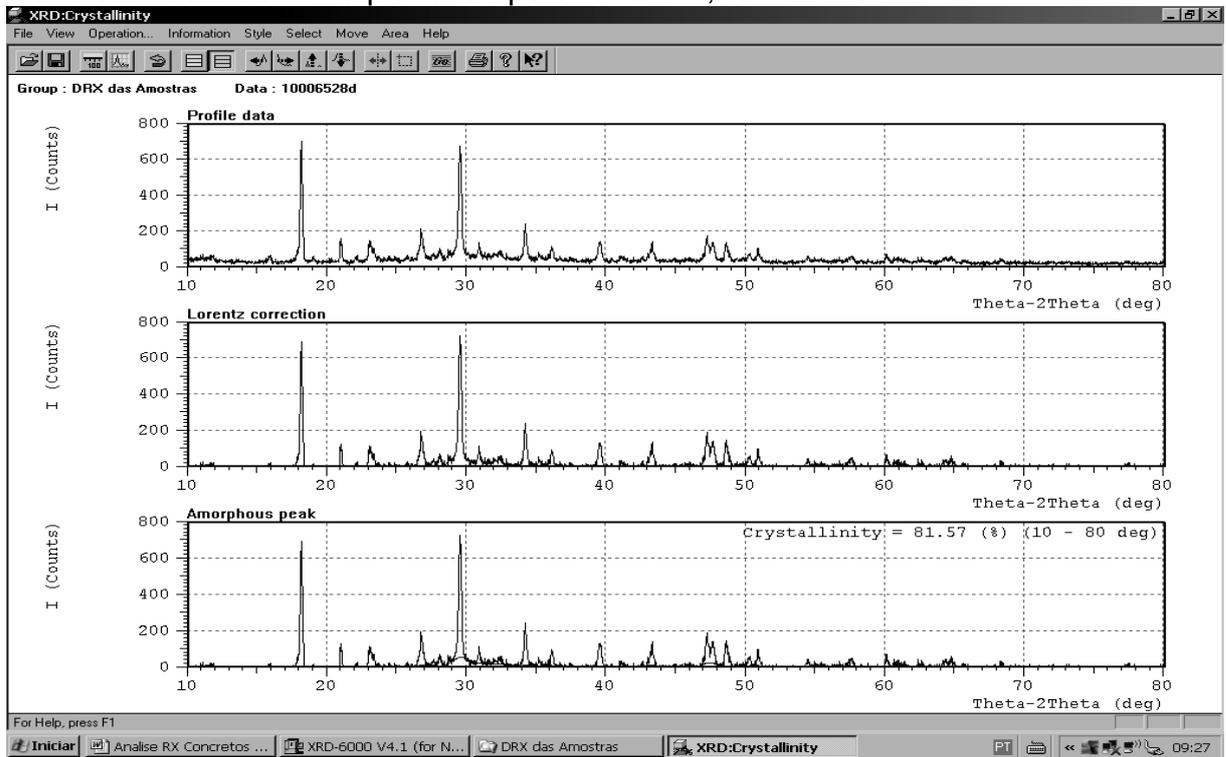
Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,55 – 91 dias



Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 7 dias



Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 28 dias



Concreto 100% de Vidro plano temperado - a/c 0,65 – 91 dias

