

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUCIANO CEZAR BONATO

**REAÇÃO ALCALI-AGREGADO, PRINCIPAIS CAUSAS E ESTUDO DE
REATIVIDADE POTENCIAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO
2015

LUCIANO CEZAR BONATO

**REAÇÃO ALCALI-AGREGADO, PRINCIPAIS CAUSAS E ESTUDO DE
REATIVIDADE POTENCIAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Civil, do Departamento Acadêmico de Construção Civil do Câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Sérgio Oberhauser Q. Braga

CAMPO MOURÃO
2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**REAÇÃO ALCALI-AGREGADO, PRINCIPAIS CAUSAS E ESTUDO DE
REATIVIDADE POTENCIAL**

por

Luciano Cezar Bonato

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 19h30m do dia 5 de fevereiro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profª. Drª. Fabiana Goia R. de Oliveira
(UTFPR)

Prof. Me. Alexis Kiouranis
(UTFPR)

**Prof. Esp. Sergio Roberto Oberhauser
Quintanilha Braga**
(UTFPR)
Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil: **Prof. Dr. Marcelo Guelbert**

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

RESUMO

BONATO, Luciano C. **REAÇÃO ALCALI-AGREGADO, PRINCIPAIS CAUSAS E ESTUDO DE REATIVIDADE POTENCIAL** - CAMPO MOURÃO. 2015. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015

A importância de se executar o controle tecnológico nos materiais de construção tem tido notável relevância em várias áreas da engenharia civil, no que diz respeito a uma edificação livre de patologias e que proporcione adequada durabilidade. Sendo as reações álcali-agregado uma modalidade muito severa de patologia, que castigam não só a edificação, como também aos cientistas que pretendem a compreender, pela sua complexidade, e ao corpo técnico que pretende a mitigar no escopo da prática, pois esta ainda é considerada por muitos como irreversível, surgiram algumas normas e ensaios no mundo inteiro acerca de seu controle. O objetivo deste trabalho consistiu em efetuar um levantamento bibliográfico quanto aos principais modos de ação e mecanismos das reações álcali-agregado e em realizar um ensaio de reatividade potencial em agregados coletados das três pedreiras disponíveis no município de Campo Mourão-PR, sendo o ensaio uma adaptação da norma ABNT NBR 15577-4. Foram feitos alguns apontamentos quanto as principais causas das expansões e mecanismo deteriorantes. Ao fim foram sugeridas possíveis medidas de mitigação para esta patologia.

Palavras-chave: Reação álcali-agregado. Ensaio de reatividade potencial. NBR 15577-4. Causas. Mitigação.

ABSTRACT

BONATO, Luciano C. **ALKALI-AGGREGATE REACTION, PRINCIPAL CAUSES AND POTENTIAL REACTIVITY STUDY** - CAMPO MOURÃO. 2015. 68p. Course Conclusion Work (Graduation) – Civil Engineering. Federal Technological University of Paraná. Campo Mourão, 2015.

The relevance of executing the technological controlling of construction materials is increasing in importance in many civil engineering areas, including edifications free of construction pathologies and with good durability. The alkali-aggregate reaction has several modalities of concrete deterioration that punishes not only the edification, but also the scientists that intend to learn about your sources too. The technicians that try to mitigate the reaction deteriorations suffer too, all of it because many authors consider it unchangeable and irreversible. Nowadays there are many norms and tests around the world about this pathology control and mitigation. The objective of this paperwork was to compile information about this thematic, the principal causes of alkali-aggregate concrete deterioration and about their mechanisms, so also was made a potential alkali-aggregate reactivity test of three quarries that supply Campo Mourão - PR and its region. These tests did following the ABNT NBR 15577-4 normative. It also evaluated the samples expansions primordial causes and their diseases mechanism. The end suggested a few attitudes to reduce this pathology.

Keywords: Alkali-aggregate reaction. Potential reactivity test. NBR 15577-4.Causes. Mitigation.

Dedicatória:

A toda minha família,

Aos meus amigos e

A toda ciência.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha mãe Valdice e ao meu pai Claudio por terem me colocado no mundo e por terem me preparado para ele, agradeço à tia Goiacy e ao tio Kaká, mas principalmente à Deus por ter permitido tudo isso.

Aos meus irmãos Wilhan, Gabriele e Grazielle, por serem ótimos comigo.

Agradeço ao meu amor Priscila e à minha filha Rebeca por terem me fortalecido sempre com amor, carinho, atenção, paciência e haja paciência, pois sem eles tudo teria sido impossível.

Aos meus queridos amigos Wander, Jullian, André, Brandão, Tiago, Evandro, Letícia, Mateus e aos demais, por terem feito da minha faculdade um tempo memorável e da minha vida algo melhor, agradeço principalmente ao Wander, que me ajudou nas horas difíceis.

Ao meu orientador Sergio, por ter me dado todo o suporte e capacitação necessários às tarefas do ofício, também por todo o aconselhamento profissional e pessoal.

Aos meus mestres e professores, por terem sido parte do alicerce de toda minha cultura. Agradeço em especial ao Giovanni, à Fabiana, ao Alexis, ao Douglas por terem me feito amar a ciência dos materiais e o material concreto.

Ao Fábio por ter me auxiliado no laboratório e por ter me ensinado alguns truques da prática laboratorial

Por fim à professora Denise por te me libertado da barreira do idioma e também por ser uma excelente amiga.

E a todos que não me recordei, mas que não deixam de ser importantes para mim.

*“Não há arte patriótica nem ciência patriótica. As duas, tal como tudo o que é bom e elevado, pertencem ao mundo inteiro e não podem progredir a não ser pela livre ação recíproca de todos os contemporâneos e tendo sempre em contra aquilo que nos resta e aquilo que conhecemos do passado”
(Johann Wolfgang von Goethe)*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO USUAL DOS COMPONENTES DO CONCRETO	18
FIGURA 2 - PONTE ROMANA COM ARQUITETURA EM COLUNATAS, TRAJANO-ITÁLIA.....	18
FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO DAS FORMAÇÕES GEOLÓGICAS NO ESTADO DO PARANÁ	23
FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO DAS FORMAÇÕES LITOLÓGICAS NO ESTADO DO PARANÁ.....	26
FIGURA 5 -OLIVINAS ESTRUTURAIS DE BASALTOS	28
FIGURA 6 -ATAQUE DA OH- NA ESTRUTURA BEM CRISTALIZADA DE SI.....	30
FIGURA 7 -ATAQUE DA OH- NA ESTRUTURA POUCO CRISTALIZADA DE SI.....	30
FIGURA 8 -FISSURAÇÃO EM PONTE DEVIDO RAA	31
FIGURA 9 -FISSURAÇÃO EM COLUNAS DE PONTES NOS EUA DEVIDO RAA, CASO A E B.....	32
FIGURA 10- FISSURAÇÃO EM FORMA DE MAPA.....	36
FIGURA 11 -MEDIÇÃO DO COMPRIMENTO INICIAL DO PRISMA, SEGUNDO ASTM C1260	37
FIGURA 12 - PRISMAS IMERSOS EM ÁGUA DESMINERALIZADA, SEGUNDO ASTM C1260.....	38
FIGURA 13 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO DA NBR 15577-4	42
FIGURA 14 - CONJUNTO DE ITENS UTILIZADOS NO PREPARO DA ARGAMASSA.....	43
FIGURA 15 -MOLDE PARA CORPOS-DE-PROVA, CONFORME NBR 15577-4.....	44
FIGURA 16 - DIAGRAMA DE PREPARO DAS BARRAS DE ARGAMASSA FONTE: PRÓPRIA AUTORIA	47
FIGURA 17 - CORPOS-DE-PROVA MOLDADOS.....	48
FIGURA 18 - PREPARO DA SOLUÇÃO DE NaOH.....	49
FIGURA 19 - LEITURA DOS PRISMAS, EM CONCORDÂNCIA COM A NBR 15577-4	50
FIGURA 20 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS GERAIS DO ENSAIO	52

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - PERÍODOS DE VIDA ÚTIL MÍNIMA SEGUNDO NBR 15575	19
QUADRO 2 - PRINCIPAIS ESTADOS PRODUTORES E CONSUMIDORES DE BRITAS DO BRASIL.....	22
QUADRO 3 - DISTRIBUIÇÃO DAS FORMAÇÕES GEOLÓGICAS PARANAENSES NAS ÉRAS GEOLÓGICAS	24
QUADRO 4 - DISPONIBILIDADE MINERAL DE ACORDO COM FORMAÇÕES GEOLÓGICAS NO PARANÁ.....	26
QUADRO 5- DISTRIBUIÇÃO DO AGREGADO NA PENEIRA NORMAL, CONFORME NBR 15577-4	45
QUADRO 6 - EXPANSÃO DOS CORPOS DE PROVA DE TODAS AS PEDREIRAS	54
QUADRO 7- EXPANSÃO MÉDIA POR PEDREIRA	54

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - EVOLUÇÃO DAS EXPANSÕES NA PEDREIRA A.....	55
GRÁFICO 2 - EVOLUÇÃO DAS EXPANSÕES NA PEDREIRA B.....	55
GRÁFICO 3- EVOLUÇÃO DAS EXPANSÕES NA PEDREIRA C	56
GRÁFICO 4 - COMPARAÇÃO ENTRE A EXPANSÃO DAS PEDREIRAS	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	JUSTIFICATIVA	15
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1	O MATERIAL CONCRETO	17
4.2	SOBRE OS AGREGADOS DO CONCRETO	20
4.3	AGREGADOS NO BRASIL E NO ESTADO DO PARANÁ	21
4.4	GEOLOGIA E DISPONIBILIDADE MINERAL NO ESTADO DO PARANÁ	22
4.5	A REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO	28
4.5.1	Reações Álcali-Sílica	32
4.5.2	Reações Álcali-Carbonato	34
4.6	HISTÓRICO DE NORMATIVA	35
4.7	A NORMA BRASILEIRA PARA REATIVIDADE POTENCIAL DE AGREGADOS À RAA:	38
5	MATERIAL E MÉTODOS	40
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA AREA DE ESTUDO	40
5.2	PROCEDIMENTOS GERAIS	41
5.3	EQUIPAMENTOS	41
5.4	ITENS PARA PREPARO DA ARGAMASSA	42
5.5	REAGENTES E SOLVENTES A SEREM UTILIZADOS	44
5.6	PREPARO DOS AGREGADOS	44
5.7	PREPARO DA ARGAMASSA	45
5.8	MOLDAGENS DOS CORPOS-DE-PROVA	47
5.9	PREPARO DA SOLUÇÃO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO	48
5.10	CONDUÇÃO DO ENSAIO	49
5.11	CÁLCULO DAS EXPANSÕES DA ARGAMASSA	50
5.12	CUIDADOS ESPECIAIS	51
5.13	RESUMO DO ENSAIO	51
5.14	ESTUDO DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E AFERIÇÃO DE DADOS	52
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
6.1	EXPANSÃO NAS BARRAS DE ARGAMASSA	54
6.2	PRINCIPAIS FATORES CAUSADORES DAS RAA's	57
6.2.1	Agregados	58
6.2.2	Cimento e o teor de álcalis	58
6.2.3	Condições de temperatura e de umidade	58
6.2.4	Condições de uso do concreto	59
6.3	A MITIGAÇÃO DA RAA	59
7	CONCLUSÃO	61
8	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	63

1 INTRODUÇÃO

Desde que o homem primitivo, movido pelas necessidades básicas, abandonou seus rústicos habitáculos e seguiu rumo ao desenvolvimento, por causa do seu comportamento ora nômade, ora sedentário, viu-se forçado a produzir as primeiras habitações utilizando-se de método e tecnologias aprimoradas. Conforme as civilizações iam surgindo e se expandindo, as infraestruturas necessárias ao desenvolvimento humano tinham um porte cada vez mais avantajado e, logo mais, as técnicas exigiam crescente refino no controle e seleção dos materiais empregados.

Independentemente da cultura local e tecnologias disponíveis, a confiabilidade das estruturas associado a baixos custos globais, pareciam atraentes aos construtores, de forma atemporal. Dito isso, o emprego do concreto como material de construção parece ter surgido como uma alternativa atraente em certas regiões onde havia disponibilidade mineral e de recursos humanos, pertinentes ao uso.

De acordo com Valduga (2002), certas propriedades fazem do concreto o material mais aplicado na Engenharia, desde a facilidade de executar elementos diversos, em variedade de dimensões e geometria, ao baixo custo e maior disponibilidade, inclusive no Brasil. Ainda sendo citado pelo mesmo autor que o concreto é tão versátil a ponto de ser chamado de "material universal".

A época de maior desenvolvimento da engenharia e construção civil brasileira ocorreu no período histórico conhecido como o "milagre brasileiro", onde foram desenvolvidas suntuosas e notáveis obras de construção como a Usina de Itaipu, Ponte Rio-Niterói e demais obras. Hoje, com o advento das tecnologias e metodologias de diagnóstico de patologias em estruturas, observou-se diversos problemas ligados ao mal emprego e execução do material concreto, nas obras supracitadas (LAPA,2008).

Portanto, apesar de sua incrível durabilidade, o material quando exposto as intempéries, sujeita-se as variáveis ambientais. Geralmente o ambiente externo interage com o concreto e dessa interação combinada de agentes biológicos, químicos e físicos, surgem diversos problemas que minoram a durabilidade do concreto (FUSCO,1976)

Desde que o francês J. Aspdin inventou o cimento Portland em 1824, citado por Carvalho (2009), até o emprego do cimento no concreto armado contemporâneo e em consequência da evolução da ciências dos materiais, das metodologias construtivas e também da importância de se investigar as causas da deterioração do concreto, incluindo as terapia do concreto (ramo da recuperação em construções), tamanha é a importância dada à durabilidade das estruturas de concreto armado, que hoje é assunto abordado pela ABNT NBR 15575 (2013). Também existem normativas abordando a seletividade e controle de agregados utilizados, salvaguardada a ABNT NBR 7211 (2009).

Das patologias conhecidas e com métodos investigativos difundidos no meio técnico, a reação álcali-agregado apresenta grande relevância de estudo, principalmente devido à carência de terapias comprovadamente eficazes, uma vez instalada a deterioração material (HASPARYK,2005)

Segundo Poggiali (2009), as patologias do concreto com causas químicas se dão pela interação dos agentes externos com os constituintes da pasta de cimento. Mas a deterioração pode ocorrer internamente, como é o caso da reação álcali-agregado, onde reação entre os álcalis que existem na pasta de cimento interage com os minerais reativos do agregado.

Como a reação entre os álcalis do cimento e os agregados utilizados possui variáveis complexas, pouco se conclui a cerca de soluções práticas para o cancelamento desse problema em agregados reativos, ideia está exposta por Valduga (2002).

A escolha do material nem sempre é uma opção, pois em certas regiões do Brasil, por exemplo, não há viabilidade no transporte/frete do produto ou simplesmente não há disponibilidade de jazidas de agregados inertes. A determinação do potencial reativo dos agregados utilizados na fabricação de concreto ou para mistura nos canteiros-de-obra das diferentes regiões do país pode ser feita utilizando a técnica proposta pela ABNT NBR 15577-1 (2008).

No intento de melhor compreender os principais agentes e mecanismos da RAA (Reação Álcali-Agregado), neste trabalho, investigar-se-á na literatura e examinar-se-á amostras de concreto armado, adquiridos com recursos próprios da pesquisa, tendo por objetivo: Melhor entendimento sobre o potencial reativo dos agregados e causas da RAA (Reação Álcali-Agregado) no concreto.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Revisar, na literatura, os principais fatores que causam a ação deterioradora da reação álcali-agregado no concreto e investigar a potencialidade de ocorrência dessa patologia mediante ensaio laboratorial com amostragem dos agregados graúdos de Campo Mourão -PR

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar fatores críticos aos agregados disponíveis na região de Campo Mourão.
- Em uso da metodologia proposta pela ANBT/NBR 15577-4, ensaiar a reatividade potencial do concreto contendo agregado comercializado em Campo Mourão- PR.
- Com base em resultados, sugerir técnicas de mitigação da ocorrência da patologia.

3 JUSTIFICATIVA

O Brasil vem experimentando um crescimento econômico intenso nas últimas décadas e uma grande transformação na estrutura socioeconômica de sua população, com isso a expectativa de vida do brasileiro aumentou e sua renda per-capita também (ALVES,2007).

Num passado não muito distante, na década de 70, houve o fenômeno brasileiro do “milagre econômico” e neste período o setor da construção civil avançou muito, inclusive as instituições tecnológicas e o meio técnico teve de passar por algumas transformações para acompanhar aquela grande demanda. Como a construção civil é uma atividade ligada diretamente a economia de um país, grande avanço ocorreu no sentido de combater problemas que as obras deste período poderiam vir a apresentar no futuro e daí houve evolução nas medidas preventivas em relação ao controle tecnológico dos materiais em especial.

Em 2007, segundo mandato do presidente Lula (2007-2010) o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) foi criado e, a exemplo do Governo do Plano de Metas de Juscelino Kubistchek (1956-1961), promoveu a retomada do planejamento e execução de grandiosas obras de infraestrutura social, urbana, logística e energética do país (CARDOSO,2013). Em consequência deste panorama, houve aumento exponencial no setor da construção civil. Para a Camara Brasileira da Industria da Construção Civil (2014), a Construção vem registrando aumento em suas atividades desde 2004, deixando para trás décadas de atraso.

Segundo o IPEA (2012), o índice de pobreza extrema decaiu muito no Brasil, também visto que o PIB do Brasil cresceu cerca de 12,5 vezes no século XX, tem-se que as expectativas estatísticas mais otimistas apontam para um patamar positivo (IBGE,2000). Em detrimento da nova conjuntura econômica do país, o mover e desejos da população pareceu sofrer amplas transformações, sendo o sonho da casa própria é um deles, antes visto como um sonho distante, agora um palpável objetivo de vida das famílias.

Difícilmente as obras e construções físicas cunhadas pelo homem são eternas, muito menos são feitas com perfeição, entretanto com o aumento de escolaridade e poder aquisitivo da população brasileira o nível de exigência com a qualidade final do produto veio sendo um assunto em pauta.

Segundo Roque (2005), crescente é o número de estruturas de concreto armado que apresentam patologias, provavelmente como resultado do envelhecimento precoce das construções existentes. A nível nacional e internacional, demonstram que as exigências e recomendações existentes nas principais normas de projeto e execução de estruturas de concreto em vigência, até o final do século passado, não bastavam.

A exemplo dos novos padrões e exigências, frente à qualidade, surgiu o Código de Defesa do Consumidor, PROCON, além do que, uma recente normativa específica relativa a durabilidade e desempenho das estruturas: A ABNT NBR 15575-2(2013).

A ABNT NBR 6118 (2003) explicita os mecanismos preponderantes de degradação da qualidade do concreto, a lixiviação por ação de águas puras, carbônicas agressivas ou ácidas, também à expansão por sulfatos, a expansão por ação das reações entre álcalis e agregados reativo, além das reações degradantes superficiais de certos agregados. Quanto à armadura, a despassivação por carbonatação e a despassivação por elevado teor de cloreto (SILVA,1997).

Quanto à compreensão dos causadores das patologias, dos fatores envolvidos e a devida profilaxia, é do interesse técnico estudar profundamente a temática e quanto mais informações armazenadas e processadas na literatura, maior será o embasamento para que as bancas especializadas, CREA, ABNT, produzam cadernos e normativas mais completas e eficazes.

Dentre as manifestações mais comuns, abordadas em norma, a reação álcali-agregado apresenta alta complexidade em termos de mecanismos de reação, pois as fontes dos álcalis nem sempre tem origem apenas no cimento Portland e a determinação da reatividade do agregado nem sempre é uma tarefa simples. Tem-se então um grande campo para a experimentação e aprofundamento teórico.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 O MATERIAL CONCRETO

O concreto é um material de construção composto por água, cimento e agregados (CARVALHO,2009). E também pode ser definido como a associação de pedras, areia, cimento e água (BOTELHO,2004). O composto químico que age como principal ligante hidráulico no concreto, salvo as hidraulites, é o cimento. Segundo Helene (2005), no conceito clássico, o cimento é principalmente composto por Silicato tricálcico (C3S), Silicato di-cálcico (C2S) e aluminatos tricálcico(C3A), sendo o C3S e C3A responsáveis pelo endurecimento e resistência a curto prazo e o Silicato di-cálcico responsável pela resistência de longo prazo. Entretanto há estudos que apontam que o teor de C₂S disponível nos cimentos comercializados no Brasil diminuíram muito, principalmente pelo fato de que este, conforme estudo, mostra-se desnecessário uma vez atingida a resistência de projeto aos 28 dias (THOMAZ,2008).

Inicialmente se pressupõe que a água utilizada na composição do concreto possui solutos de reatividade desprezível e que os agregados utilizados também são inertes, infelizmente isso não é algo que aconteça na prática.

Os agregados que compõe o concreto são divididos em agregados graúdos e agregados miúdos, de acordo com seu tamanho.

A distribuição mais comum dos componentes do concreto, segundo a ABESC (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem), é tida por: 10% de cimento, 18% de água, 2% de ar, 25% de agregados finos e 45% de agregados graúdos, conforme Figura 1:

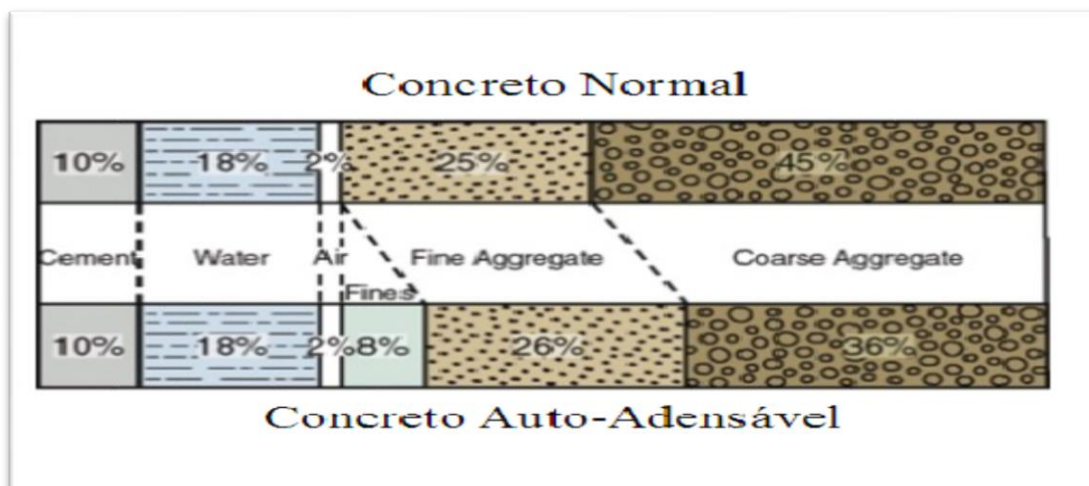


Figura 1 - Distribuição usual dos componentes do concreto
Fonte ABESC (2014)

O concreto apresenta vantagens como, economia de construção, resistência às agressões químicas e físicas do ambiente, adaptabilidade a qualquer geométrica de construção (FUSCO,2008). Para vencer longos vãos em elementos de viga, os antigos construtores enfrentavam dificuldades com a tração no concreto e isto limitou os antigos à arquitetura em colunatas, a exemplo da ponte de Trajano na Itália, segue em Figura 2:



Figura 2 - Ponte romana com arquitetura em colunatas, Trajano-Itália
Fonte: Carlos Botelho (2007)

Como o concreto não reage bem ao esforço de tração, viu-se como uma boa alternativa a associação de ferragens metálicas ou armaduras metálicas no interior das estruturas de concreto, pelo fato de que o aço tem ótimas propriedades de resistência ao esforço de tração, no meio técnico essa associação dos materiais é chamada de Concreto Armado.

Entretanto, dentre as inúmeras variáveis que contribuem para a qualidade final de uma edificação em concreto, vale ressaltar o cuidado especial que se deve ter em função das patologias que afetam a durabilidade do concreto armado. A normativa ABNT NBR 15575-2 (2013) estipula entre vários parâmetros de desempenho, a que devem todas as edificações brasileiras atender, parâmetros mínimos de vida útil. Seguem abaixo os períodos mínimos de vida útil das edificações, conforme Quadro 1:

SISTEMA	VUP mínima
Estrutura	≥ 50 anos
Pisos internos	≥ 13 anos
Vedação vertical externa	≥ 40 anos
Vedação vertical interna	≥ 20 anos
Cobertura	≥ 20 anos
Hidrossanitário	≥ 20 anos
(*) Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 15575 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.	

Quadro 1 - Períodos de vida útil mínima segundo NBR 15575

Fonte: Delmar (2014)

Observar todos os cuidados que se deve ter com o concreto nem sempre é uma tarefa fácil. De acordo com Helene (2005), basicamente para se obter peças de concreto mais resistentes as patologias comuns, deve-se estar atento aos seguintes itens, inerentes a tecnologia do concreto:

- Composição ou traço do concreto;
- Compactação ou adensamento efetivo do concreto na estrutura;
- Cura efetiva do concreto na estrutura; e
- Cobrimento ou espessura do concreto de cobrimento das armaduras

Porém, estes são os passos a serem seguidos no âmbito prático, na execução e no controle. Segundo Helene (2005), dentre os processos que interferem na durabilidade do concreto armado, divididos em processos físicos e químicos, temos entre os processos químicos mais relevantes: corrosão das armaduras, penetração de cloretos, carbonatação, ataque por sulfatos e reações álcali-agregado.

4.2 SOBRE OS AGREGADOS DO CONCRETO

Na construção civil, o termo “agregado” é atribuído aos minerais areia, cascalho e rocha britada que entram em misturas para produzir concreto convencional, concreto asfálticos e diversas modalidades de argamassas ou até mesmo são utilizados no estado natural como base de pavimentos. Na América do Norte também é comum chamar rochas calcárias utilizadas na produção de cimento de agregado.

Segundo o Serviço Geológico Americano (United States Geological Survey - USGS) citado por Quaresma (2012), os agregados são os recursos minerais mais acessíveis à humanidade, ficando à frente do concreto neste quesito.

De acordo com Luz e Almeida (2012), no Brasil existem oficialmente 600 empresas que produzem o agregado britado, que geram 21.000 empregos diretos, de onde 60% das empresas produzem menos de 240.000 toneladas por ano, 30% entre 240.000 e 480.000 toneladas por ano e 10% produzem mais do que 480.000 toneladas por ano. Entretanto, é necessária proximidade entre o centro de consumo e a jazida, para que seja viável a extração e comercialização do agregado.

A norma ABNT NBR 7211 (2009) fixa as características exigíveis para agregados naturais ou de processo de britagem de rochas estáveis. Quanto a granulometria, define agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante da britagem de rochas, ou mistura, passante pela peneira ABNT 4,8mm retida na peneira

ABNT de 0,075 mm. Define agregado graúdo como cascalho, rocha britada ou mistura, de grãos retidos na peneira ABNT de 4,8 mm.

Sendo a brita o produto do processo de cominuição de tipos estáveis de rochas. A Pedra-brita é um termo, mais comumente, empregado para rochas duras, beneficiadas ou trituradas de blocos maiores, extraídos de maciços de rocha. Ainda segundo Quaresma, os tipos de rochas mais comumente empregados para produção de agregado britado no Brasil são rochas de granito, gnaisse, basalto e calcário.

4.3 AGREGADOS NO BRASIL E NO ESTADO DO PARANÁ

As rochas ou matrizes minerais destinadas ao uso como agregados na construção civil são abundantes no Brasil e a disponibilidade de agregados em uma dada região do Brasil está relacionada diretamente à proximidade das jazidas ou pedreiras da região de consumo, como afirma Quaresma (2012) em consonância com as ideias de Luz e Almeida (2012), afinal no Brasil o meio de transporte de frete mais utilizado é o rodoviário, que é um modal muito oneroso. Não distante das dificuldades em se ter uma jazida próxima aos centros de consumo, existem fatores limitantes tais como, zoneamentos urbanos, zoneamentos ambientais, ter agregados com características químicas dos minerais compatíveis com o emprego na construção civil, previsto em norma.

Da produção e consumo de agregado britado no Brasil, segundo a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (2007), segue na Quadro 2 algumas informações da distribuição percentual entre os estados produtores nacionais de agregado:

- Consumo de Brita – Brasil (2007)	
REGIÃO	QUANTIDADE (10⁶ t)
Norte	9,84
Nordeste	16,52
Centro-Oeste	18,88
Sudeste	99,28
Sul	29,16

- Principais Estados Produtores – Brasil (2007)	
ESTADO	QUANTIDADE (10⁶ t)
São Paulo	58,4
Minas Gerais	22,32
Rio de Janeiro	14,20
Santa Catarina	11,04
Rio Grande do Sul	9,88
Goiás	9,52
Paraná	8,24

Quadro 2 - Principais estados produtores e consumidores de britas do Brasil
Fonte: ANEPAC (2007)

Quanto a disponibilidade mineral, este fator está diretamente associado a formação geológica da região em que se localiza a jazida. Quaresma (2012) afirma que não há dados quantitativos sobre a disponibilidade mineral para agregado no Brasil até então, entretanto a participação dos estados brasileiros no setor de agregados e britas pode ser compreendido pelas figuras anteriormente apresentadas.

4.4 GEOLOGIA E DISPONIBILIDADE MINERAL NO ESTADO DO PARANÁ

Numa primeira observação, apenas geomorfológica, o Estado do Paraná possui três formações geomorfológicas básicas: 1º Planalto, 2º Planalto e 3º Planalto, conforme a Figura 3.



Figura 3 - Distribuição das formações geológicas no Estado do Paraná
Fonte: MINEROPAR (2014)

De acordo com Thomaz (1984), em sua formação geológica e litológica, o Estado do Paraná se formou em duas grandes divisões do tempo geológico: Eon Criptozóico, donde não há registros fósseis, e Eon Fanerozóico, donde há registros fósseis. Dentro do Eon Criptozóico está compreendida a Era Pré-Cambriana, donde surgem as formações geológicas paranaenses: Formação Setuva, Formação Capiru, Formação Itaiacoca, Formação Votuverava, Formação Água Clara. Já dentro do Eon Fanerozóico estão compreendidas as eras Paleozoica e Mesozoica, de onde há registros fósseis e permitem a identificação e secção de uma gama de formações geológicas do território paranaense, conforme a Quadro 3.

GEOCRONOLOGIA					LITOESTRATIGRAFIA			
EON	ERA	PERÍODO	ÉPOCA	IDADE	FORMAÇÃO	GRUPO	SUPERGRUPO	
FANEROZÓICO	MESOZOICA	Cretáceo	Superior	Maestrichtiano				
				Campaniano				
				Santoniano				
				Coniaciano				
				Turoniano				
		Cenomaniano						
			Inferior	Albiano	Caiuá	Serra Geral		SÃO BENTO
				Aptiano				
				Barremiano				
				Hauteriviano				
				Valanginiano				
			Superior	Tithoniano	Botucatu	Pirambóia		
				Kimmerridgiano				
				Oxfordiano				
				Calloviano				
	Bathoniano							
		Médio	Bajociano					
			Aaleniano					
			Toarciano					
			Pliensbachiano					
			Sinemuriano					
		Inferior	Hettangiano					
			Rhaetiano					
			Norian					
			Carniano					
			Ladiniano					
		Superior	Anisiano					
Scythiano								
Tartariano								
	Superior	Kazaniano	Rio do Rasto	Palermo	Rio Bonito	GUATÁ		
			Teresina					
			Serra Alta					
			Irati					
			Kunguriano					
	Médio	Artinskiano	Rio do Sul	Mafra		ITARARÉ		
		Sakmariano	Campaniano					
PALÉOZOICA		Superior		c	Campo do Tenente			
				b				
				a				
				Stefaniano				
				Westfaliano				
		Inferior			Namuriano			
					Viséano			
					Tournaisiano			
					Fameniano			
					Frasniano			
		Superior			Givetiano	Ponta Grossa	PARANÁ	
					Couviniano			
					Emsiano			
		Inferior			Siegeniano	Furnas		
					Gediniano			
Downtoniano								
				Ludloviano				
				Wenlockiano				
				Llandoveryano				
				Ashgilliano				
	Superior			Caradociano				
				Llandelliano				
	Inferior			Llanvirniano				
				Arenigiano				
				Tremadociano				
	Superior			Potsdamiano				
				Acadiano				
				Georgiano				
	Médio							
	Inferior							
CRÍPTOZOICO							EMBASAMENTO	

Quadro 3 - Distribuição das formações geológicas paranaenses nas Eras Geológicas
Fonte: Thomaz (1984)

Fornecido pela MINEROPAR (2010), segue um resumo dos minerais disponíveis pelas formações geológicas do Estado do Paraná, conforme Quadro 4.

Unidade estratiográfica	Ambiente predominante	Agrupamento litológico	Ocorrências minerais, jazidas e minas	Área km ²	% do Estado
Sedimentos Recentes	fluviais atuais e subatuais	aluviões, argilitos, arcósios, areias, cascalhos, turfeiras	diamante, ilmenita, zirconita, ouro, turfa	6.377	3,2
Grupo Bauru	planície fluvial e desértico	arenitos, siltitos, lamitos avermelhados		23.520	11,8
Rochas ígneas alcalinas	vulcanismo continental	diques básicos, plutões sieníticos, fonolíticos e carbonatíticos	fosfato, terras raras, fluorita		
Formação Serra Geral	vulcanismo continental	derrames, diques e sills basálticos toleíticos	cobre, ágata, ametista, pedra brita, argila	105.043	52,7
Formação Botucatu	Desértico e planície aluvial	Arenitos e raros conglomerados	Areia industrial e para construção civil	2.790	1,4
		Intrusões gábricas com diferenciados alcalinos	rochas ornamentais		
Formação Rio do Rastro	fluviais, planície deltáica e de marés	siltitos, argilitos, arenitos verdes ou vermelhos e calcarenitos	calcário, argila vermelha	6.378	3,2
Formação Teresina	planície de marés e de plataforma epinerítica	siltitos acinzentados com lentes de calcários	calcário, argila vermelha	6.776	3,4
Formações Serra Alta e Irati	plataforma epinerítica e bacia restrita	lamitos, argilitos, folhelhos cinza escuros e pirobetuminosos	calcário, xisto pirobetuminoso, argila	2.790	1,4
Formações Palermo e Rio Bonito	plataforma epinerítica, planície litorânea e flúvio deltáicos	siltitos cinzentos, arenitos, folhelhos e calcários	calcário, urânio, carvão, argila vermelha	4.783	2,4
Grupo Itararé	depósitos litorâneos, de plataforma periglacial, deltáica	folhelhos e siltitos cinzentos, arenitos esbranquiçados, diamictitos, ritmitos, arenitos grosseiros avermelhados	carvão, areia industrial, argila refratária e caulínica	13.952	7,0
Formação Capiru		Metassiltitos, metargilitos, filitos grafitosos, mármore dolomíticos e dolomitos, metarenitos	mármore dolomítico	996	0,5
Formação Votuverava		Meta-siltitos, metargilitos, metarrimitos, ardósias, metarenitos, micaxistos, calcários e dolomitos	metacalcário calcítico e dolomítico	1.594	0,8
		migmatitos bandados, micaxistos e quartzitos		398	0,2
Grupo Setuva		calcoxistos, mármore, micaxistos, metatufos básicos e rochas manganíferas	mármore, zinco, barita, chumbo, prata, fluorita	797	0,4
Formação Água Clara		granada-silimanita xistos, actinolita-biotita xistos, xistos calco-silicáticos, mármore dolomíticos e calco-silicáticos			
Grupo Setuva		calco-xistos, micaxistos, metabasitos, anfíbolitos e quartzitos.	chumbo, zinco, prata	797	0,4
Formação Perau		Metavulcânicas ácidas localmente			
Complexo Pré-Setuva		migmatitos bandados, gnaisses fitados e oclares, quartzitos a magnetita, anfíbolitos, metabásicas, serpentinitos e talcoxistos	rochas para revestimento, ouro	6.577	3,3
Complexo Serra Negra		charnoquitos, granulitos, xistos manganesianos, anfíbolitos, micaxistos e quartzitos		597	0,3

Formação Ponta Grossa	litorâneos e de plataforma	folhelhos e siltitos, localmente betuminosos e arenitos finos	argila vermelha	1.993	1,0
Formação Furnas	depósitos aluviais e litorâneos	arenitos médios a grosseiros, e conglomeráticos e siltitos	areia, caulim	4.185	2,1
Grupo Castro	vulcano-sedimentar	siltitos, lamitos, arenitos, arcósios, conglomerados, riolitos, andesitos, ignimbritos, tufos, brechas riolíticas, quartzo-latitos	ouro, argilas, pedra brita	797	0,4
Formação Guaratubinha	vulcano-sedimentar	conglomerados, arcósios, siltitos, argilitos, brechas vulcânicas, tufos, lavas riolíticas e andesíticas	ouro	199	0,1
Formação Camarinha		siltitos, conglomerados polimíticos, arcósios e argilitos		199	0,1
Granitóides		granitos alcalinos, sienitos e alaskitos	rocha ornamental, ouro, cassiterita, wolframita e molibdenita	996	0,5
Granitóides		granodioritos, monzonitos e granitos com horblenda e biotita		199	0,1
Granitóides		batólitos graníticos com macrocristais de feldspato potássico		4.385	2,2
Granitóides		granitos gnáissicos e de anatexia		597	0,3
Sequência Antinha		metarritmitos, metarenitos, metacalcários e metaconglomerados	metacalcário calcítico	199	0,1
Formação taiaçoca	vulcano-sedimentar	Metassiltitos, metavulcânicas, mármore dolomíticos e dolomitos. metarenitos, quartzitos e micaxistos	talco, caulim, mármore dolomítico	1.395	0,7

Quadro 4 - Disponibilidade mineral de acordo com formações geológicas no Paraná
Fonte: MINEROPAR (2014)

Ainda, de acordo com a MINEROPAR (2006), as formações litológicas do Estado do Paraná se distribuem, conforme a Figura 4.

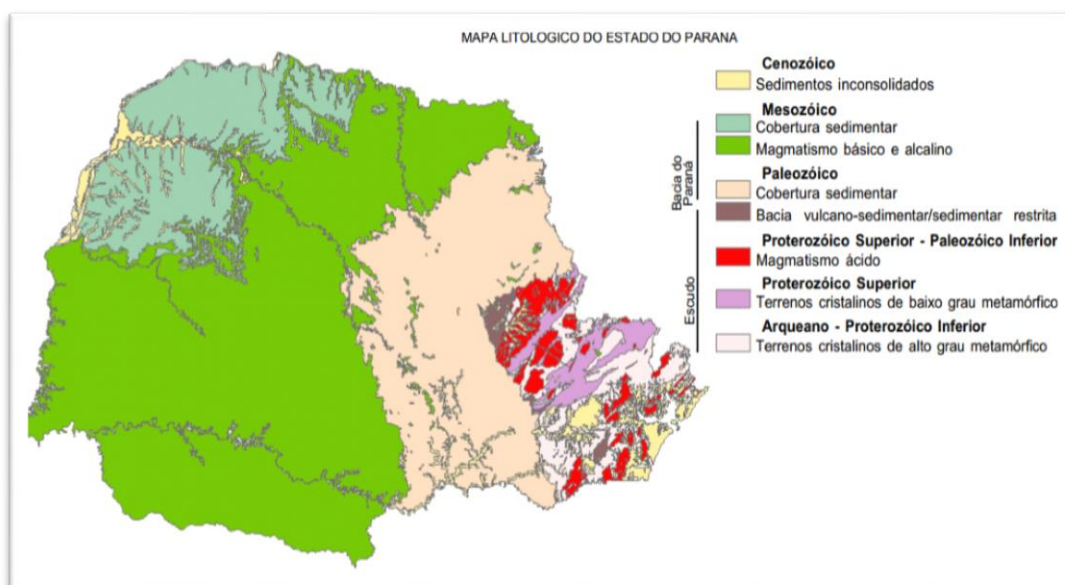


Figura 4 - Distribuição das formações litológicas no estado do Paraná
Fonte: MINEROPAR (2014)

Já Rocha (2012) expõe que o município de Campo Mourão está inserido na unidade geológica-geomorfológica do terceiro planalto paranaense, precisamente sobre a formação geológica serra geral, no bloco 5c, donde ocorre formação de rochas basálticas das diversas naturezas.

O basalto é uma rocha ígnea do tipo extrusiva (resfriamento rápido a superfície), é encontrada no Paraná em jazidas de pedra britadas, pelo afloramento devido a derramamentos vulcânicos de tempos pretéritos. No Estado do Paraná o basalto se formou pelos sete derramamentos basálticos da Bacia do Paraná, que ocorreram no período mesozoico, colocado pela MINEROPAR (2010), ainda se trata de um material composto quase que completamente por vidros, sendo que sua composição se dá por associação de plagioclásio e piroxênio, na maioria dos casos por olivina. Em relação aos minerais que compõem os basaltos, segundo Petrucci (1973), o plagioclásio é um tipo de feldspato composto por anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) e albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), os piroxênios são importantes inossilicatos que possuem a augita como mineral mais encontrado, em geral possuem tetraedros de sílica ($\text{XY}(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}$) com massa específica 3,2 a 3,6. Já as olivinas são minerais esverdeados, compostos por silicatos de ferro e magnésio ($(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{SiO}_4$) caracterizados por baixa estabilidade química, podendo ser alterados pela água, expandindo-se e formando a serpentina (KLEIN,1973). Segue na Figura 5, a estrutura microcristalino básica de basaltos, em geral, de olivinas.

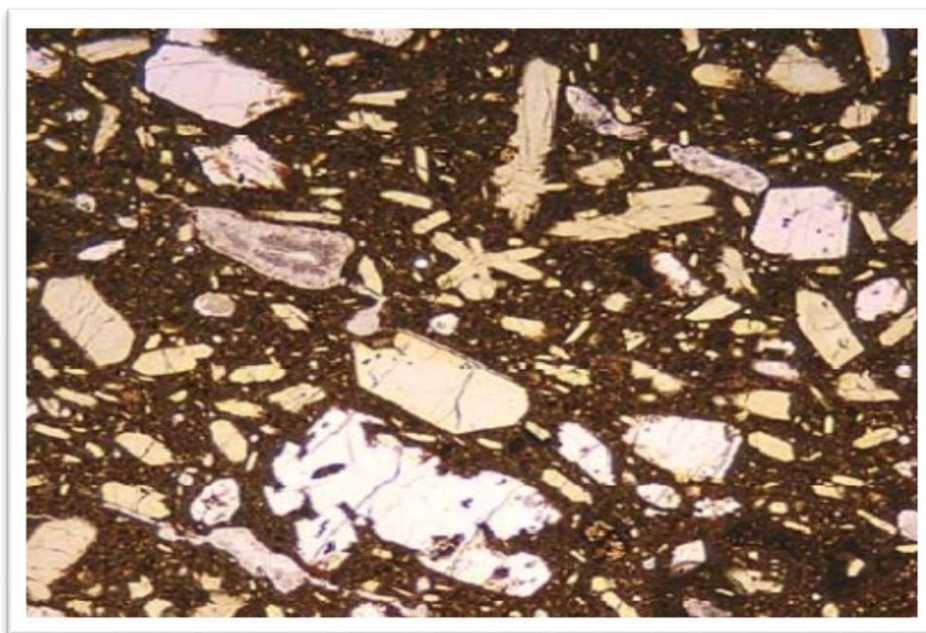


Figura 5 -Olivinas estruturais de basaltos
Fonte: Adaptado de Klein (2012)

Além do que, a formação de cristais no basalto é muito pequena e em teores de sílica é considerada uma Rocha intermediária, nem ácida e nem ultrabásica (KLEIN,1973)

Em geral, na construção civil, o basalto quando utilizado como agregado é empregado como material inerte, mais isso será colocado em teste, no caso do basalto de pedras britadas em Campo Mourão-PR.

4.5 A REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

Os primeiros casos de reação álcali-agregado foram documentadas pelo Americano Thomas Stanton em meados da década de 40, nos arredores de Monterrey e Los Angeles no estado norte americano da Califonia, onde Thomas Stanton observou fendilhamentos e expansões em maciços de concreto pertencentes à prédios de escolas, pavimentos, pontes e paredões de beira-mar.

Thomas Stanton colheu testemunhos de concreto e através da experimentação determinou que as reações que ocorriam nestes formavam uma eflorescência branca que causava expansões, diminuindo a elasticidade e durabilidade do concreto, a essa

descoberta Thomas Stanton chamou de Reação Álcali-agregado (Em inglês, Alkali-Aggregate).

De forma simplória, a reação álcali-agregado (RAA) é a reação química que ocorre no interior de uma estrutura de concreto, que se dá entre os álcalis do cimento e os minerais dos agregados, sendo que geralmente os álcalis ou hidróxidos alcalinos também podem advir da água de amassamento, de aditivos químicos, de adições pozolânicas, entre outros.

Segundo Kuperman (2005), quimicamente a reação álcali-agregado, se processa principalmente pelos álcalis de óxido de Sódio(Na_2O) e de Potássio (K_2O), dito que o sódio é o mais influente, assim apresentando um parâmetro para teor de álcalis, o equivalente alcalino, segue a formulação:

$$\text{Eq. Alcalino em Na}_2\text{O} = \% \text{Na}_2\text{O} + 0,658. \% \text{K}_2\text{O} \quad (1)$$

Segundo Ferraris (1995) citado por Valduga (2002), ao hidratar o cimento se produz Silicatos de Cálcio Hidratado (C-S-H), Hidróxidos de Cálcio(CaOH) e Sulfoaluminato de Cálcio (Etringita), sendo que os íons de cálcio são geralmente adicionados aos produtos de hidratação, mas o sódio e o potássio permanecem na solução, exceto quando, raramente, são incorporados nos Silicatos de Cálcio Hidratados e Monossulfatos. Este ambiente, ao longo da hidratação do cimento, se torna alcalino (Ph em torno de 13) e a alcalinidade tende a favorecer o ataque do Si pelas hidroxilas pela redução, pois o desbalanço eletrônico favorece a formação de pilhas químicas.

Ainda outro fator que agrava a ocorrência da RAA é o nível de cristalização dos compostos de silício, pois conforme Helmuth e Stark (1993) citado por Hasparyk (2005), as hidroxilas conseguem atacar apenas as superfícies dos agregados contendo sílicas bem cristalizadas dada a estrutura organizada dos cristais, já quando se trata de uma sílica amorfa, as hidroxilas conseguem penetrar o interior dos agregados e aí se instaura a RAA. Segue nas Figura 6 e Figura 7, abaixo, o esquema dos ataques das hidroxilas nos silicatos cristalizados e pouco cristalizados:

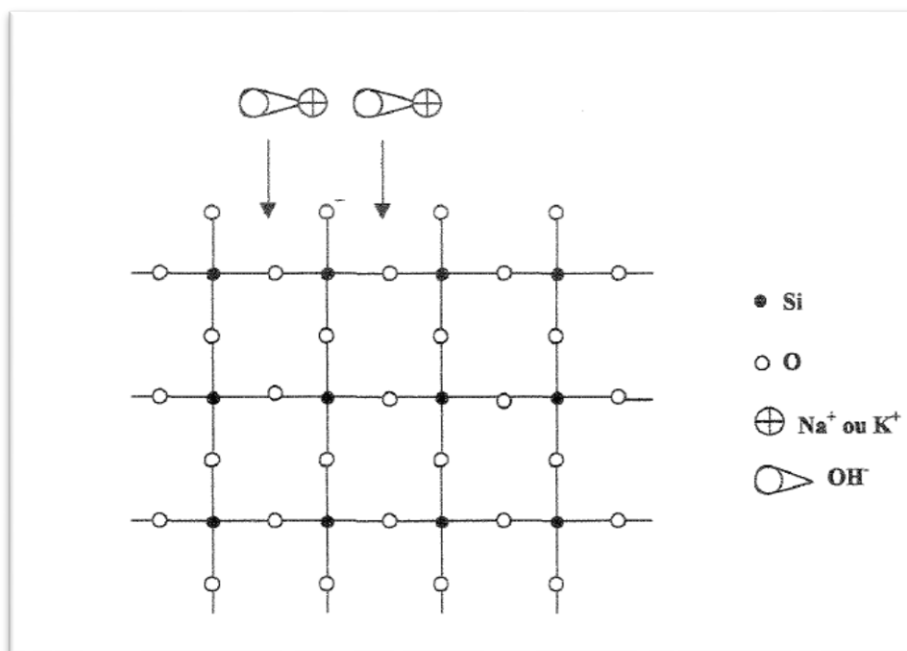


Figura 6 -Ataque da OH- na estrutura bem cristalizada de Si
Fonte: Ferraris (2000)

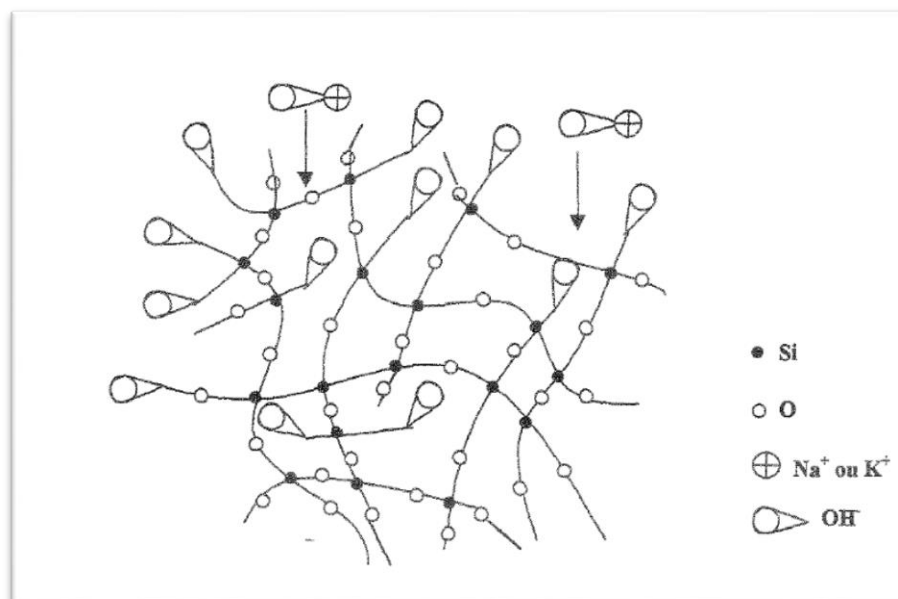


Figura 7 -Ataque da OH- na estrutura pouco cristalizada de Si
Fonte: Ferraris (2000)

Segundo Paulon (1981) a RAA também pode ser definida como a reação química entre os álcalis na matriz do concreto e os componentes reativos dos agregados, na presença de umidade, com efeitos que variam de invisíveis fissurações a rachaduras que comprometem a integridade estrutural ou mecânica do concreto,

sendo que o efeito severo da patologia é geralmente verificado após alguns anos do término da obra.

Paulon (1981) ainda afirma que a RAA resulta em produtos que, na presença de umidade, são expansivos e geram fissurações, além disso, podem comprometer as estruturas de concreto. A ocorrência de RAA é mais comum em obras que estejam expostas à umidade como por barragens, pontes, viadutos, chamadas “obras-de-arte”, entretanto também pode ocorrer em edificações e obras habitacionais, em especial as fundações, onde o concreto fica em contato direto com a umidade. Abaixo segue fissurações formadas em uma ponte devido RAA, conforme Figura 8 e Figura 9.

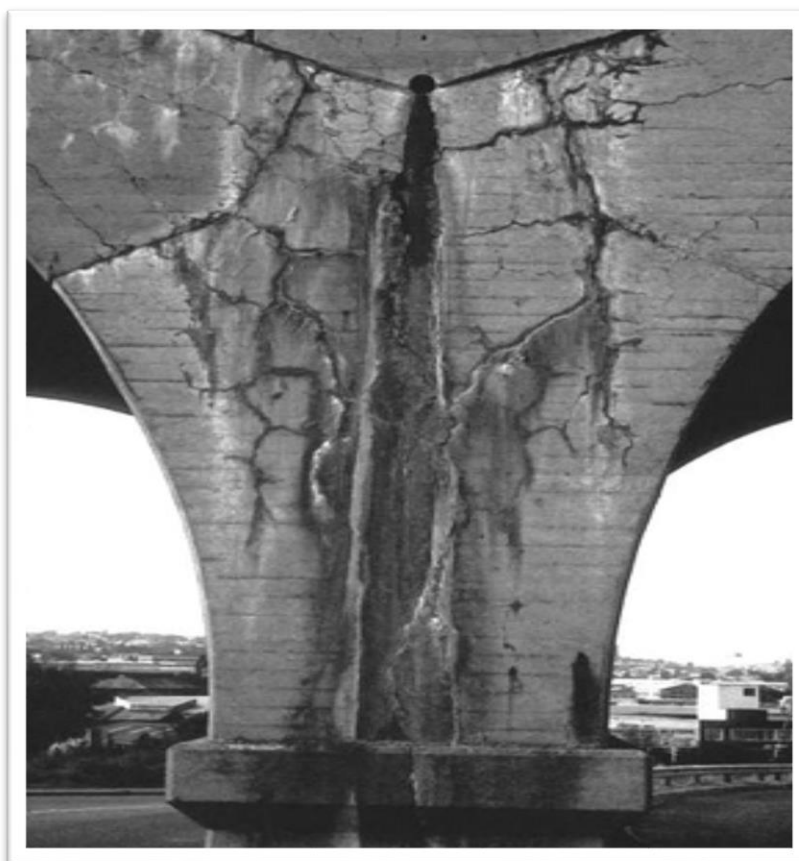


Figura 8 -Fissuração em ponte devido RAA
Fonte: Mark Alexander (2005)

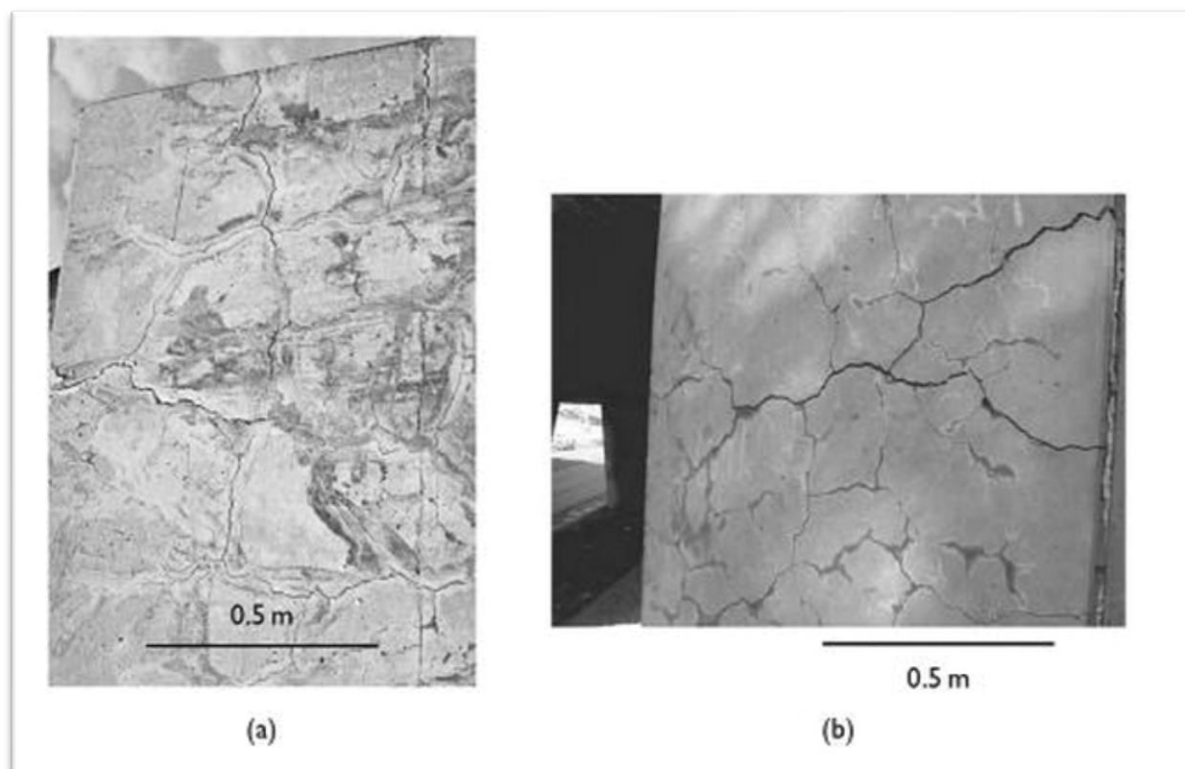


Figura 9 -Fissuração em colunas de pontes nos EUA devido RAA, caso A e B
Fonte: Mark Alexander (2005)

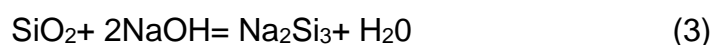
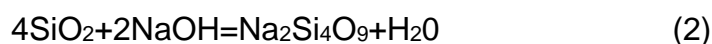
As reações entre os álcalis e os agregados, nas décadas passadas, eram até então chamadas de forma simplória de reações álcali-agregado, porém de lá pra cá o estudo sobre esta manifestação patológica difundiu-se no meio acadêmico e prático de forma que, contemporaneamente, estas são agora subdivididas em classes conhecidas de reação: Reação álcali-sílica, reação álcali-silicato, reação álcali-carbonato. As reações ocorrem numa mesma ambientação e se dão na mesma interface dos álcalis com os agregados, fazendo com que seja difícil distingui-las, entretanto ver-se-á porque isso hoje não é aplicável em alguns casos.

4.5.1 Reações Álcali-Sílica

As reações álcali-sílica basicamente ocorrem entre os álcalis da argamassa e as sílicas quimicamente reativas: Vidros naturais e artificiais, opalas, tridimitas e calcedônias, sílicas amorfas e cristobalitas (HASPARYK,2005). Já para Carneiro (2006), a reação álcali-sílica envolve os íons alcalinos e hidroxilas do cimento com os

agregados, cuja fase mineralógica contenha sílica na forma amorfa, sendo uma reação de forte intensidade. Ainda segundo Hasparyk (2005), a definição de reação álcali-sílica se dá por: Reação que ocorre entre formas metaestáveis de sílicas disponíveis nos agregados como vidros vulcânicos, tridimitas, opalas e cristobalitas com a solução de poro de álcalis, dentre as principais, sódio e potássio. Sendo a principal característica das sílicas quimicamente reativas a cristalização amorfa.

As reações álcali-sílicas tendem a formar um gel expansivo nas interfaces entre agregado e o concreto endurecido, os danos formados por essa modalidade de reação álcali-agregado tendem a agir mais rapidamente do que a reação álcali-silicato, que será abordada posteriormente. Em geral, segundo Swamy (1992) a reação álcali-sílica difere das reações álcali-silicato e álcali-carbonato pelo fato de que o resultado da reação entre álcalis dos fluidos de poro no concreto e os compostos de silício formam um gel álcali-sílica que é hidrofílico, o que absorve misturas. Esse mecanismo pode ser expresso nas seguintes fórmulas idealizadas:



Entretanto, ainda de acordo com Swamy (1992), a formulação exata do gel formado na reação álcali-sílica, permanece incógnito.

Reações Álcali-Silicato

A reação álcali-silicato é a reação que ocorre entre os álcalis disponíveis no concreto e os silicatos: Argilitos, siltitos e grauvacas. Devido a maior disseminação na matriz, essa reação é bem lenta e surte efeitos danosos a estrutura ao longo prazo. Ainda é apresentada a definição de Kihara (1986) citado por Sanchez (2007), onde a RASS (Reação Álcali Silicato) é descrita como sendo a reação que ocorre entre os álcalis do cimento e silicatos presente em feldspatos, folhetos argilosos, argilitos, siltitos e grauvacas ou ardósias, filitos, quartzitos e xistos ou granitos, ocorre mais lentamente pelo fato dos minerais estarem disseminados no retículo cristalino.

Um dos prejuízos que a reação álcali-silicato causa é a desagregação do concreto armado, pelo fato que o gel formado na reação não ter aderência com a pasta enrijecida de concreto, além de expandir e formar fissuração (SANCHEZ, 2008). Poole (1992) citado por Hasparyk (2005), ainda ressalta que as reações álcali-sílica e álcali-silicato ocorrem simultaneamente dificultando o diagnóstico isolado de cada uma.

4.5.2 Reações Álcali-Carbonato

A reação álcali-carbonato foi, primeiramente, observada pelo pesquisador canadense E. G. Swenson entre as décadas de 50 e 60. A reação álcali-carbonato é descrita pela "desdolomitização", reação entre as dolomitas dos calcários e os álcalis principalmente fornecidas pelo cimento, produzindo hidróxidos de magnésio (HASPARYK,2005). E segundo Hobbs (1988), a reação álcali-carbonato ocorre quando álcalis provenientes do cimento, ou de outra fonte externa, reagem com certas calcários com impurezas de argila, onde os álcalis interagem com a dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) formando brucita ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) e calcita (CaCO_3). Quimicamente representados pela seguinte equação:



Apesar de haverem vários mecanismos de reações álcali-carbonato, ainda o processo mais conhecido permanece sendo a desdolomitização da dolomita, em que as fissuras surgidas deste processo são originadas pela reação individual das partículas de agregados graúdos (HASPARYK,2005). Em geral divididas em 3 formas:

- Pressões hidráulicas devido a movimentação da água e íons alcalinos nas lacunas da matriz da calcita
- Adsorção dos íons alcalinos e água na interface ativa dos minerais de argila em torno da dolomita
- Expansão e realojamento dos produtos da desdolomitização.

Segundo Sanchez (2008), não houve nenhum registro de ocorrência da reação alcali-carbonato no Brasil até então.

4.6 HISTÓRICO DE NORMATIVA

Quando Stanton observou casos de reações álcali-sílica em 1942, utilizando-se dos laboratórios do CSDH (*California State Division of Highways*), compôs corpos cilíndricos de argamassa, constituídas por cimento de alto teor de álcalis e agregados conhecidamente reativos, e os submeteu a um ambiente extremamente úmido, desta forma ele verificou a expansividade destes corpos-de-prova e tomou duas conclusões importantes para o campo de estudo da RAA:

- As expansões em argamassa compostas por cimentos com equivalente de óxido de sódio abaixo de 0.6% são desprezíveis.
- A substituição parcial de cimento com alto teor de álcalis por Pozolanas ajuda a prevenir a expansões devido reação álcali-agregado.

Os trabalhos realizados por Thomas Stanton formaram as bases para a elaboração da ASTM C227 e posteriormente ASTM C289, normativas que abordavam RAA (ACI 221, 1998).

O vanguardista, em estudos sobre reação álcali-carbonato, Swenson do conselho Nacional de Pesquisas do Canadá (National Research Council of Canada) ao identificar as reações entre álcalis e agregados de calcita contendo argila dolomítica e as diferenciar das demais reações até então chamadas de álcali-agregado, porém posteriormente denominadas reações álcali-sílica e álcali-silicato, muito contribuiu para posteriores normativas, a exemplo do teste do cilindro de rocha da ASTM C586 (Standard Test Method of Carbonate Rocks as Concrete Aggregates).

A Normativa ACI 221 (1998) do Instituto Americano de Concreto (American Concrete Institute) apresenta um estado-da-arte sobre as reações álcali-sílica e álcali-carbonato, e apresenta um conceito importante sobre RAA: Quando se associa as fissurações em um betão diretamente a RAA, pode-se estar incorrendo num erro grave, pois fissurações são consequência da expansão formada pelo gel exsudado da RAA. Logo, fissuração pode ocorrer devido a ataques químicos diversos no concreto, bem como expansão devido formação de ferrugem nas ferragens e outras

patologias. Também, a ACI 221 apresenta a fissuração em forma de “mapas” ou Map-cracking, conforme Figura 10:

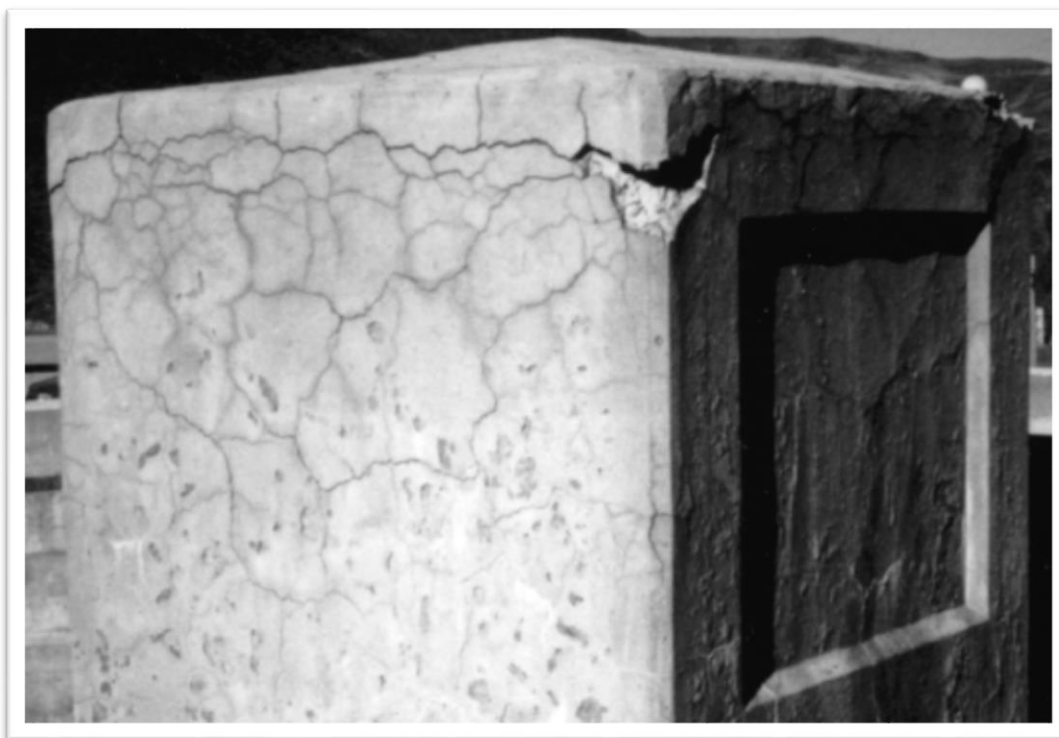


Figura 10- Fissuração em forma de mapa
Fonte: ACI 221 (1998)

Por fim, a normativa ACI 221, apresenta os principais fatores que influenciam na formação de RAA: Umidade, temperatura, teor de álcalis e teor de íons de hidroxila. A ACI-150 limita o teor de álcalis dos cimentos a 0,6% numa tentativa de mitigar a ação degradante da RAA.

As normativas existentes buscam identificar o potencial reativo dos agregados utilizados para compor o concreto, porém existem várias metodologias, diretas e indiretas, a exemplo da análise visual do concreto, proposto pela ASTM C856, propagação de ondas de ultrassom, pela NBR 8802, análise da resistência à compressão antes e depois da expansão dos corpos-de-prova, pela ASTM C-39, permeabilidade do concreto, pela NBR 10786, análises petrográfica e ensaios de expansão com lítio, de acordo com a ASTM C1293 além de diversas análises químicas e exames de microscopia de varredura a que se pode submeter o concreto. Mas vale salientar de que, é interessante buscarmos sempre metodologias práticas e que possam ser realizadas numa duração curta, pela própria exigência do mercado da construção.

Foi nesse intuito de criar métodos simples e práticos, que a ASTM desenvolveu, através da norma ASTM C1260 (2005), a mais difundida e utilizada metodologia para determinar reatividade potencial em agregados sujeitos a RAA até então. Esta norma constitui num método de expansão de cilindros de argamassa, onde são produzidos, 3 copos de prova para cada amostragem, segue representação dos prismas de argamassa conforme Figura 11:



Figura 11 -Medição do comprimento inicial do prisma, segundo ASTM C1260
Fonte: US Department of Transportation (2014)

Então estes são submersos ou expostos a um ambiente de 100% de umidade, daí em diante são medidos os avanços nas expansões dos prismas aos 16 e 28 dias, segue abaixo a Figura 12 com barras submersas conforme ASTM 1260:

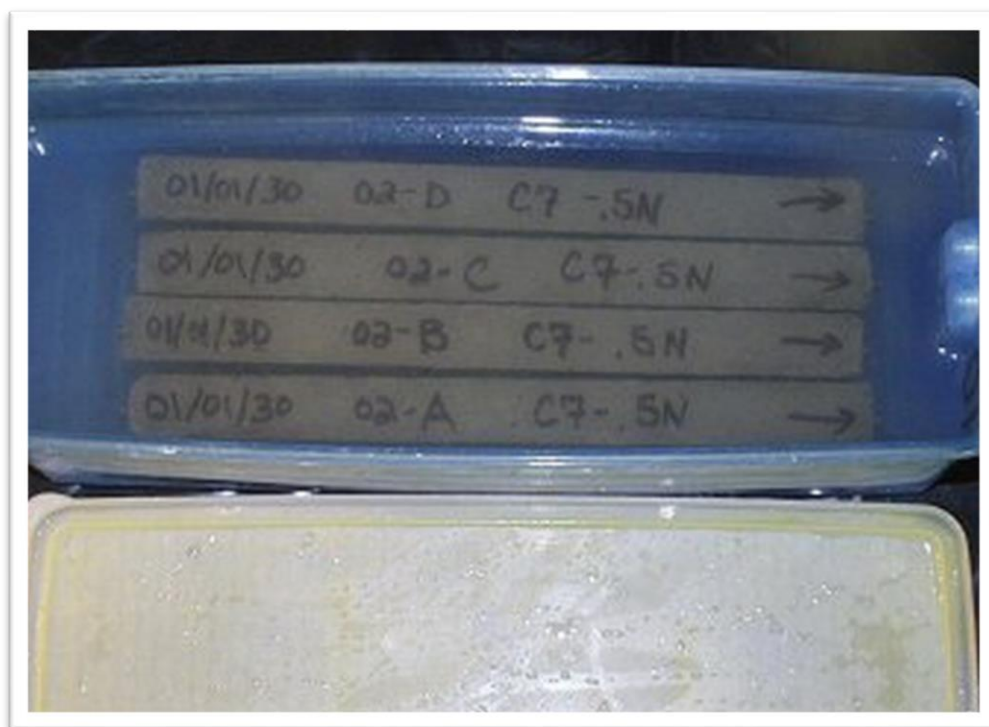


Figura 12 - Prismas imersos em água desmineralizada, segundo ASTM C1260
Fonte: US Department of Transportation (2014)

Observam-se as expansões ao longo das idades de 16 e 28 dias, considerando-se inócuos os agregados nos prismas com expansão abaixo de 0,1% aos 16 dias e prosseguindo em análise até os 28 dias, limitando-se ao máximo de 0,2%, sendo potencialmente deletérias as expansões entre 0,1 e 0,2% ASTM C1260 (2005)

4.7 A NORMA BRASILEIRA PARA REATIVIDADE POTENCIAL DE AGREGADOS À RAA:

A Associação Brasileira de Normas Técnicas dispõe de diversas normas que auxiliam no diagnóstico e prevenção das reações álcali-agregado/álcali-sílica. Entretanto, visando-se canteiros-de-obra e o ambiente prático. A ABNT elaborou à imagem e semelhança da ASTM C1260, a ABNT NBR 15577.

Conforme anteriormente citado, no Brasil há raros ou quase nenhum caso registrado no meio científico de reações álcali-carbonato (HASPARYK, 2005), devido ao tipo de agregado propenso a essa modalidade de reação ser escasso no Brasil, há

apenas relatos de ocorrência no Canadá e no estado americano da Virgínia (ACI 221, 1998). Dito isso, é de maior interesse o estudo da reação álcali-sílica.

No ensaio brasileiro ABNT NBR 15577-4(2008), são moldados corpos de prova prismáticos e é monitorada a expansão deles, os prismas devem ser moldados com argamassa conforme a ABNT NBR 9479, utilizando-se de um tipo de cimento padrão, com qualidade estipulada pela ABNT NBR 5732 e ABNT NBR 5733. Quanto aos agregados, devem estar conforme a ABNT NBR 15577-2. Por fim este teste deve apresentar resultados aceitáveis sobre o comportamento dos agregados em relação aos álcalis do cimento.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA AREA DE ESTUDO

O município de Campo Mourão está situado nas coordenadas 24°02'38" S e 52°22'40" O, está a 630 m acima do nível médio do mar, na região Centro-Oeste do Estado do Paraná.

De acordo com Campo Mourão (2012), a classificação climática do município é Cfa: clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. A temperatura média anual é de 20 graus Celsius. Os índices pluviométricos apresentam-se em média entre 1.400mm e 1.500mm por ano, tendo nos meses de verão as maiores concentrações de chuvas e, nos meses de inverno, as menores (BONATO,2012). O solo predominante é o latossolo roxo, de textura argilosa, profundo, muito fértil, de grande aptidão para sustentar intensa atividade agrícola.

A cidade de Campo Mourão está situada no Terceiro Planalto Paranaense, onde há a ocorrência de duas formações rochosas básicas: lavas vulcânicas mesozoicas que contém basaltos e intrusões de diabásio pertencentes à Formação Geológica Serra Geral e resquícios de arenitos da Formação Caiuá. Há registros de ocorrência de basaltos que variam de Meláfiros a riódacitos, sendo que estes últimos contem boa porção de sílica. Também de basalto vesicular com preenchimento de sílica na forma de Geodos de quartzos, natrólitos, ágatas, e correlatos, calcita e malaquita. Também nos rios que fluem sobre o arenito Caiuá há exploração de areia destinada à construção civil (ROCHA, 2012). Devido a abundância de basaltos, há no município a extração de pedras britadas, utilizadas na construção civil como agregado, em geral compostas por basaltos.

Na cidade de Campo Mourão-PR existem três pedreiras mantenedoras dos estoques de agregados graúdos do comércio da construção civil: Pedreiras A,B e C. Uma situa-se à área urbana no bairro Jardim Aeroporto, a outra encontra-se nos arredores da cidade à rodovia BR272, por fim a última localiza-se na cidade de

Peabiru-PR, a qual quase conurba-se a Campo Mourão-PR. Por questões de sigilo e ética, ambas as pedreiras não foram identificadas.

5.2 PROCEDIMENTOS GERAIS

Inicialmente foram levantadas as principais causas de RAA em concreto armado com enfoque nas reações álcali-sílica, com base na literatura expôs-se medidas preventivas simples com aplicabilidade prática apresentando-se de forma sucinta os mecanismos desta patologia. Foram coletadas 3 amostras de 20 quilos cada, a primeira na pedreira 1, a segunda na pedreira 2 e a terceira na pedreira 3, ambas pedreiras localizadas na região de Campo Mourão e que fornecem agregados no município de Campo Mourão – PR e região. O material coletado das pedreiras foi submetido ao ensaio da ABNT NBR 15577-4 (2008) no qual foi mensurado sua suscetibilidade à RAA por meio de sua expansibilidade. Duas das três pedreiras forneceram informações litológicas do agregado (por motivo de privacidade os ensaios litográficos das pedreiras foram mantidos em sigilo), sabido que a MINEROPAR classifica as rochas basálticas de Campo Mourão-PR nos grupos Meláfiros e Riodácitos e que informações prestadas pelas pedreiras são consonantes com essa afirmativa, dada a inviabilidade da análise petrográfica via microscopia avançada, foi feito diretamente o ensaio acelerado das barras de argamassa imerso em NaOH 1N (NBR 15577-4). Enfim, de posse dos dados de expansibilidade dos CP's foram conjecturadas propostas para mitigação dos efeitos das reação álcali-sílica.

5.3 EQUIPAMENTOS

Misturador mecânico de argamassa com capacidade de 5L e pás de giro planetário de 2 velocidades padrão ABNT (item 2), balança científica padrão ABNT de resolução mínima de 0,1g e carga mínima de 1kg (item 1), agitador de peneiras padrão ABNT (item 4), Estufa ventilada capaz de manter temperatura de $80 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e com dimensões compatíveis com o ensaio (item 3), Suporte e Relógio comparador padrão

ABNT capaz de detectar variações de comprimento de totais de 5,0mm com precisão de 0,001 mm (item 5), conforme Figura 13:



Figura 13 - Equipamentos utilizados no experimento da NBR 15577-4

Fonte: Shanghai Civil & Road Instrument Co (2014); Slabor (2014); Multitec (2014); Própria autoria

5.4 ITENS PARA PREPARO DA ARGAMASSA

Jogo de peneiras padrão a serem empregados nos ensaios de granulometria dos agregados, com aberturas nominais de malha: 4,75m; 2,36;1,18;600 “m e 150 “m especificadas na ABNT NBR NM 3310-1(item1). Rolo de fita crepe (item 6), 2 óculos de proteção (item 9), 40 sacos para acondicionamento do agregado (item 8), 1 máscara de proteção (item 5), 1 pincel de pelo sintético (item 4), espátula de lâmina fina de aço com comprimento entre 100 e 150 mm (item 7), 1 par de luvas de pano (item 11) e 5 béqueres plásticos (item 10), conforme Figura 14.



Figura 14 - Conjunto de itens utilizados no preparo da argamassa
Fonte: Própria autoria

Paquímetro com escala em milímetros para mensura de comprimentos acima de 300mm, com mínimo de resolução de 0,1mm (item 1). Moldes para confecção dos corpos de prova, conforme norma NBR 15577-4 (item 2). Barra-padrão para aferição do comparador de comprimento, com comprimento de $295 \pm 1,5$ mm, possuindo coeficiente de dilatação linear menor que $2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ (item 3). Recipiente de plástico ou metal resistente à exposição prolongada a 80°C e solução de NaOH 1N, de dimensões tais que o corpo-de-prova fique completamente imerso na solução e não tenha contado direto com as paredes internas do recipiente (item 4), conforme Figura 15.



Figura 15 -Molde para corpos-de-prova, conforme NBR 15577-4
Fonte: Própria autoria

5.5 REAGENTES E SOLVENTES UTILIZADOS

Água destilada ou desmineralizada para limpeza e confecção dos corpos de prova. Solução de hidróxido de sódio, composta por 40,0g de NaOH em 1L de solução aquosa compondo NaOH a 1N de concentração.

5.6 PREPARO DOS AGREGADOS

De posse das pedras britadas das pedreiras da região, foi feita a triagem do material para submetê-las as peneiras de norma. Os agregados foram selecionados e amostrados conforme NBR 15577-4, obedecendo a proporção da norma. Para manter a correta granulometria foi utilizada uma série de peneiras normais e um

agitador de peneiras a fim de se obter a distribuição dos agregados conforme o Quadro 5 a seguir:

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR ISSO 3310-1)		Quantidade de material em massa	
Passante	Retido	%	g
4,75mm	2,36mm	10	99
2,36mm	1,18mm	25	247,5
1,18mm	600" mm	25	247,5
600" m	300" mm	25	247,5
300" m	150" mm	15	148,5

Quadro 5- Distribuição do agregado na peneira normal, conforme NBR 15577-4

Fonte: ABNT NBR 15577-4 (2009)

5.7 PREPARO DA ARGAMASSA

A argamassa utilizada para compor os corpos-de-prova foi dosada obedecendo uma parte em massa de cimento para 2,25 partes em massa de agregado com relação água/cimento 0,47 em massa. Este traço foi sugerido pela NBR 15577 (2008)

Segundo ABNT NBR 15577-2(2008), para os agregados com massa específica (d) igual ou superior a $2,45 \text{ g/cm}^3$, as quantidades de materiais secos a serem misturados de uma vez para moldagem de três barras de argamassa, a partir da recombinação das frações retidas nas várias peneiras na classificação prescrita na Tabela 2, foram:

- 440 g de cimento
- 990g de agregado.

Para agregados com massa específica (d) menor que $2,45 \text{ g/cm}^3$, as quantidades de materiais secos a serem misturados de uma vez para moldagem de três barras de argamassa deveriam ser:

- 440g de cimento

Obedecendo a fórmula:

$$Ma = 2,65 / 990 d \quad (4)$$

Onde: Ma é a massa de agregado, em gramas, composta a partir da recombinação das frações retidas nas várias peneiras na classificação prescrita no quadro 3.

No caso, o agregado teve suas massas específicas apuradas e se adequava na primeira regra de dosagem. A argamassa foi homogeneizada no misturador mecânico seguindo os seguintes passos:

Ligou-se a velocidade baixa do misturador mecânico, água foi colocada na cuba e o cimento foi adicionado aos poucos, a mistura inicial foi feita dentro de um intervalo de 30s. O agregado foi posto na cuba nas cinco frações já separadas durante um período total de 30s.

Após o término da mistura de água, cimento e agregado, foi desligado o misturador durante o tempo de 1 minuto e 30 segundos, durante os primeiros 15s deste período será removido o excesso de argamassa das bordas da cuba e será colocada ao centro. O resto deste período (1 minuto e 15s) foi usado para a argamassa permanecer em repouso. Depois do repouso da argamassa, foi misturado a fase por mais 1 minuto na velocidade alta do misturador, todas as opções do preparo da argamassa seguem no diagrama da Figura 16.

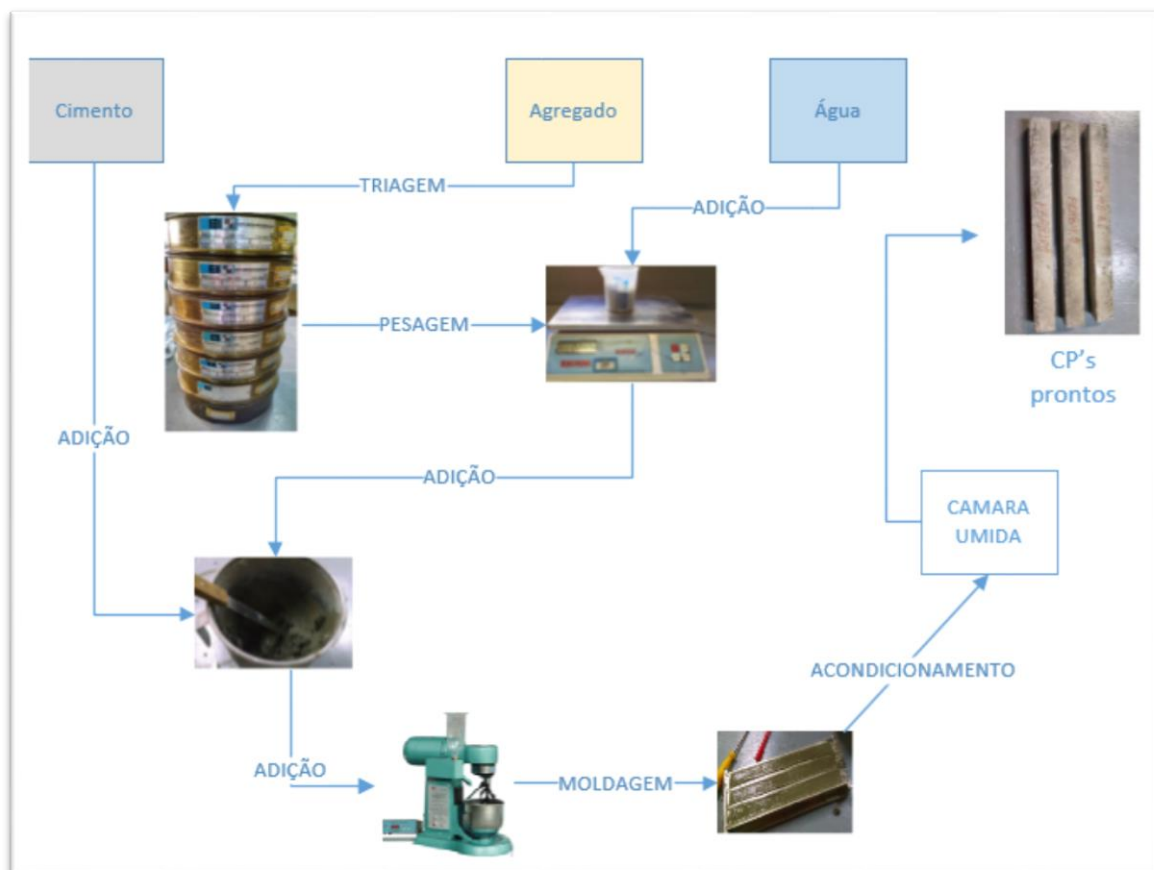


Figura 16 - Diagrama de preparo das barras de argamassa
Fonte: Própria autoria

5.8 MOLDAGENS DOS CORPOS-DE-PROVA

Após preparo do material, a argamassa já pronta foi moldada em corpos-de-prova em até 2 minutos e 15 segundos conforme ABNT NBT 15577-5 indica, a deposição do material na forma foi feita em duas porções semelhantes em volume, adensando cada camada com 20 golpes de soquete até obter um material com consistência homogênea, após isso, rasou-se e alisou-se a superfície com espátula e deixou-se os corpo-de-provas em descanso pelo período de 24 ± 2 horas em câmara úmida. Todo esse procedimento correu no dia 20/10/2014 por volta das 15:30 da tarde. Segue registro dos CP's moldados, conforme Figura 17.



Figura 17 - Corpos-de-prova moldados
Fonte: Própria autoria

5.9 PREPARO DA SOLUÇÃO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO

A norma ABNT NBR 15577-4 (2009), determina que seja utilizado em seu ensaio acelerado, uma solução de NaOH a concentração de 1N para imergir as barras de argamassa, para este preparo foi utilizado 60g de NaOH sólido e 900ml de água destilada. Inicialmente foi feita a pesagem do NaOH(sólido) em uma balança de alta resolução, obtida a quantidade desejada, foi separado um número suficiente de pissetes com água destilada, numa capela ventilada foi feita a diluição de NaOH em um béquer contendo água destilada. Para este procedimento foi utilizado uma caixa de isopor com gelo para amenizar o comportamento exotérmico da reação, enfim foi então diluído o volume total da solução com auxílio de um bastonete de polimérico e um balão volumétrico de 1L. Segue procedimento, segundo Figura 18.



Figura 18 - Preparo da solução de NaOH
Fonte: Própria autoria

5.10 CONDUÇÃO DO ENSAIO

Desmoldados os corpos-de-prova, foi feita uma leitura inicial no relógio comparador, com precisão de $\pm 0,001$ mm às 15:00 da tarde do dia 21/10/2014, depois disso os corpos-de-prova foram submersos nos recipientes contendo água e acondicionados na estufa ventilada, onde permaneceram por cerca de 30 dias.

O aquecimento da estufa foi feito de forma gradual, não abrupta, durante o período de aproximadamente 6 horas.

As leituras das expansões foram registradas segundo o cronograma da pesquisa, sendo anotadas as expansões nos dias 1, 16 e 30 de exposição ao NaOH e 80°C. As leituras foram rápidas e os corpos-de-prova não passaram mais do que 10 minutos fora do recipiente e da estufa.

Para as medições das expansões nas barras de concreto, foram aferidos os relógios comparadores com grande cautela para que as barras não ficassem excêntricas em torno do próprio eixo, uma vez acopladas no medidor foram lentamente giradas em 360 graus, ilustrado a seguir na Figura 19.



Figura 19 - Leitura dos prismas, em concordância com a NBR 15577-4
Fonte: Própria autoria

Anotadas as expansões, as amostras retornaram rapidamente para as estufas. Sendo de recomendação da norma fazer pelo menos 3 leituras nos períodos intermediários entre as marcas de 16 e 30 dias de experimento, contados a partir da composição da argamassa.

5.11 CÁLCULO DAS EXPANSÕES DA ARGAMASSA

O cálculo das expansões foi feito subtraindo do comprimento final das barras de argamassa o comprimento inicial de leitura, sendo expressa as expansões em porcentagem do comprimento efetivo de medida, com aproximação de 0,001 %. A expansão numa determinada idade é a média das expansões das três barras de

argamassa correspondentes, sendo considerado também a média das três leituras para cada corpo de prova. Foi então elaborado gráfico com evolução das expansões.

5.12 CUIDADOS ESPECIAIS

Foi tomado um cuidado especial com a temperatura ambiente nos laboratórios onde foram conduzidos os experimentos, especialmente no momento de aferir a expansão das barras de argamassa, buscando sempre temperaturas próximas de 23 e 24°C. A estufa foi calibrada para temperaturas próximas de 80±2°C. Ainda a umidade relativa do ar na sala de moldagem deveria estar acima de 50%. Para isso foi preparada a argamassa na sala úmida e no caso, a câmara úmida em que os corpos de prova foram experimentados marcou umidade relativa do ar acima de 95%.

De norma foi sugerido o cimento-padrão de acordo com a ABNT NBR 5732 e ABNT NBR 5733, além de possuir finura de $(4\ 900 \pm 200)$ cm²/g, determinada de acordo com a ABNT NBR NM 76, equivalente alcalino total expresso em Na₂O_{eq} (0,658 K₂O % + Na₂O %) de $(0,90 \pm 0,10)$ %, determinado de acordo com a ABNT NBR NM 17 e expansão em autoclave inferior a 0,20 %, determinada pelo método prescrito pela ASTM C 151. Entretanto no caso, devido à escassez deste no mercado, foi conduzida a pesquisa com o cimento CPV-ARI, devido aos baixos teores pozolânicos. Também utilizou-se uma malha 850 µm na triagem granulométrica do cimento para excluir grumos.

5.13 RESUMO DO ENSAIO

Em consonância com a ABNT NBR 15577-4 foi realizado o ensaio conforme os seguintes procedimentos:

Seleção e verificação do agregado, conforme normativa. Divisão do agregado nas corretas porções granulométricas. Verificação da equivalente alcalina e atendimento a critérios para cimento padrão de norma, no caso utilizou-se cimento CP-V ARI. Preparo da solução de NaOH a 1N. Preparo da argamassa e moldagem

dos CP's. Elaboração de um gráfico contendo evolução das expansões médias de acordo com as idades de avaliadas em 16 e 32 dias. Observação das características visuais apresentadas pelos corpos-de-prova como por exemplo, fissuração, formação de gel na borda da reação com os agregados. Análise das expansões ao longo da vida útil dos corpos-de-prova. Segue em fluxograma as etapas gerais do ensaio, que consta na Figura 20:

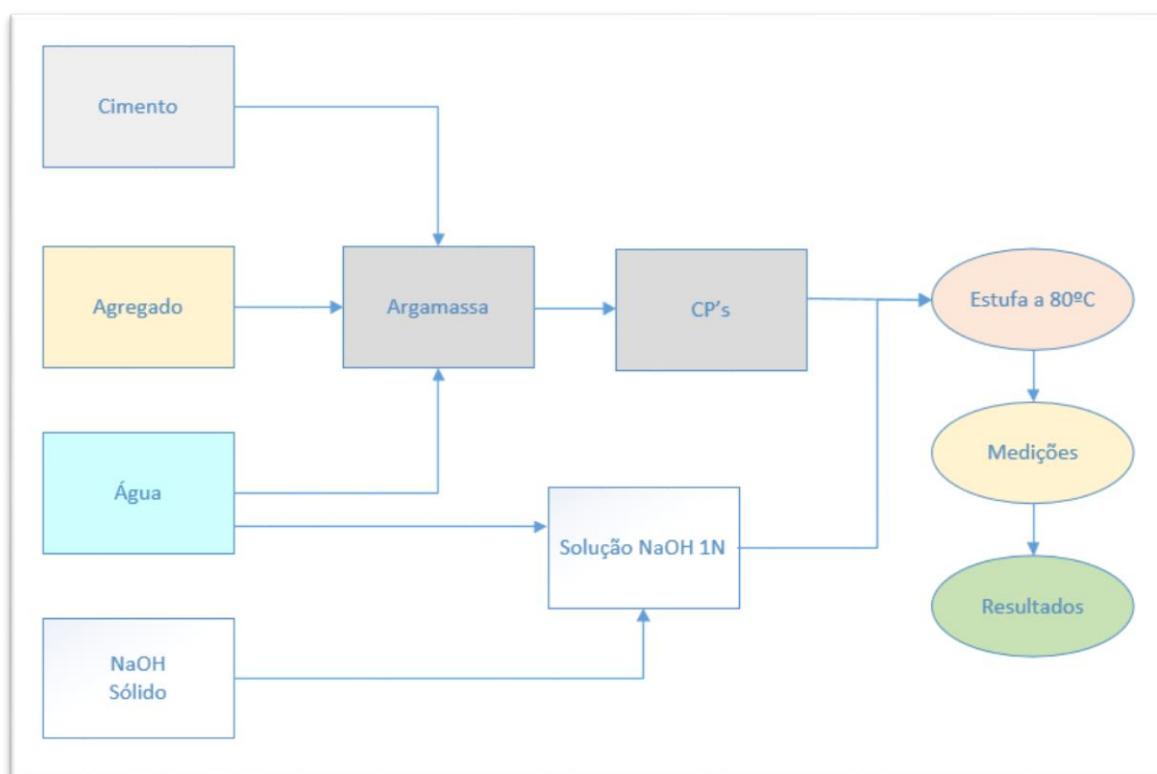


Figura 20 - Fluxograma das etapas gerais do ensaio
Fonte: Própria autoria

5.14 ESTUDO DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E AFERIÇÃO DE DADOS

Foi feito um compêndio das principais causas apontadas pelos autores do meio técnico, fazendo-se uma abordagem prática sobre os aspectos da RAA, dando sempre enfoque nas reações álcali-sílica (que geralmente são mais comuns no Brasil).

Observando-se as características dos agregados disponíveis na região, cimento comercializado e demais condições de contorno, foi feito um resumo

panorama da suscetibilidade dos concretos a RAA em Campo Mourão-PR. Sempre atendo-se as limitações orçamentárias e cronograma.

Associando os dados dos ensaios laboratoriais as principais causas de RAA no Brasil, foram levantadas algumas hipóteses sobre prevenção da RAA no concreto a nível municipal, então serão sugeridas medidas mitigadoras para tal.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 EXPANSÃO NAS BARRAS DE ARGAMASSA

Entre os dias 21/10/2014 e 21/11/2014 foi acompanhada a expansão dos corpos-de-prova submersos em NaOH 1N à 80°C, totalizando um período de 30 dias conforme normativa ABNT NBR 15577-4. Segue no quadro abaixo, os resultados das expansões (média das triplicadas de cada CP) obtidas:

EXPANSÃO LONGITUDINAL DOS CPS (%)

DATAS DE MEDIÇÃO	Pedreira A			Pedreira B			Pedreira C		
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7	CP 8	CP 9
21/10/2014.	0,19%	0,10%	0,16%	0,45%	0,48%	0,38%	0,44%	0,17%	0,07%
05/11/2014.	0,22%	0,14%	0,19%	0,47%	0,50%	0,39%	0,47%	0,35%	0,10%
21/11/2014.	0,22%	0,14%	0,22%	0,47%	0,50%	0,39%	0,47%	0,38%	0,12%

Quadro 6 - Expansão dos corpos de prova de todas as pedreiras

Fonte: Própria autoria

De acordo com os resultados acima, foi seguido o procedimento de norma e calculada a evolução das expansões pela média dos 3 corpos de prova de cada pedreira, originando o seguinte resultado:

EXPANSÃO LONGITUDINAL DOS CPS (%)

DATAS DE MEDIÇÃO	Pedreira A	Pedreira B	Pedreira C
	MEDIA	MEDIA	MEDIA
21/10/2014.	0,15%	0,43%	0,23%
05/11/2014.	0,18%	0,45%	0,31%
21/11/2014.	0,19%	0,45%	0,32%

Quadro 7- Expansão média por pedreira

Fonte: Própria autoria

Para a pedra A, graficamente observou-se a seguinte evolução nas expansões dos CP's, conforme Gráfico 1:

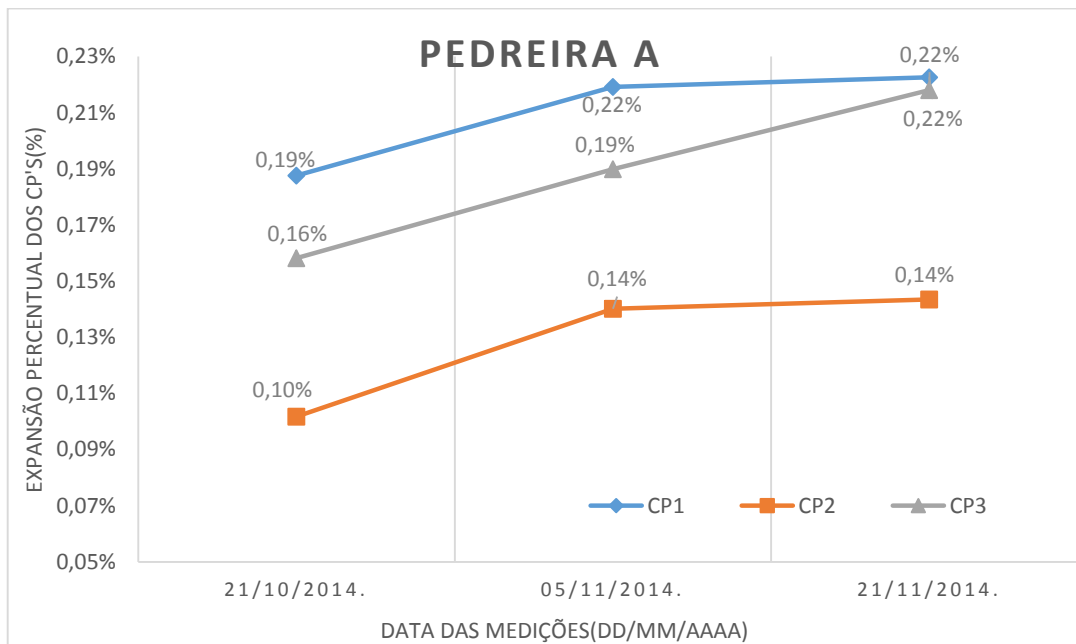


Gráfico 1 - Evolução das expansões na pedra A

Fonte: Própria autoria

Para a pedra B, graficamente observou-se a seguinte evolução nas expansões dos CP's, conforme Gráfico 2:

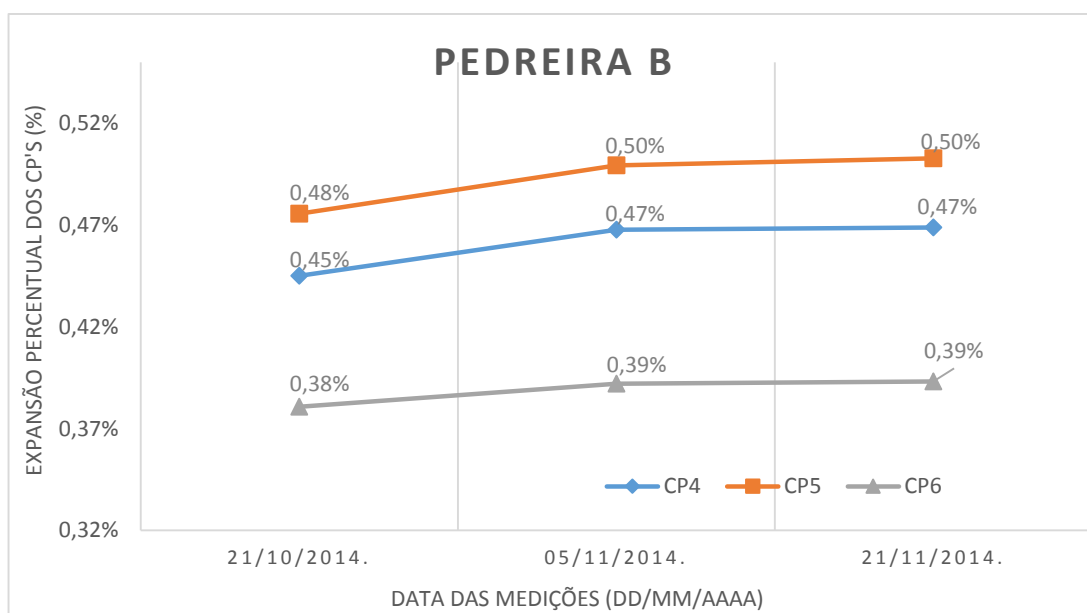


Gráfico 2 - Evolução das expansões na pedra B

Fonte: Própria autoria

Para a pedra C, graficamente observou-se a seguinte evolução nas expansões dos CP's, conforme Gráfico 3:

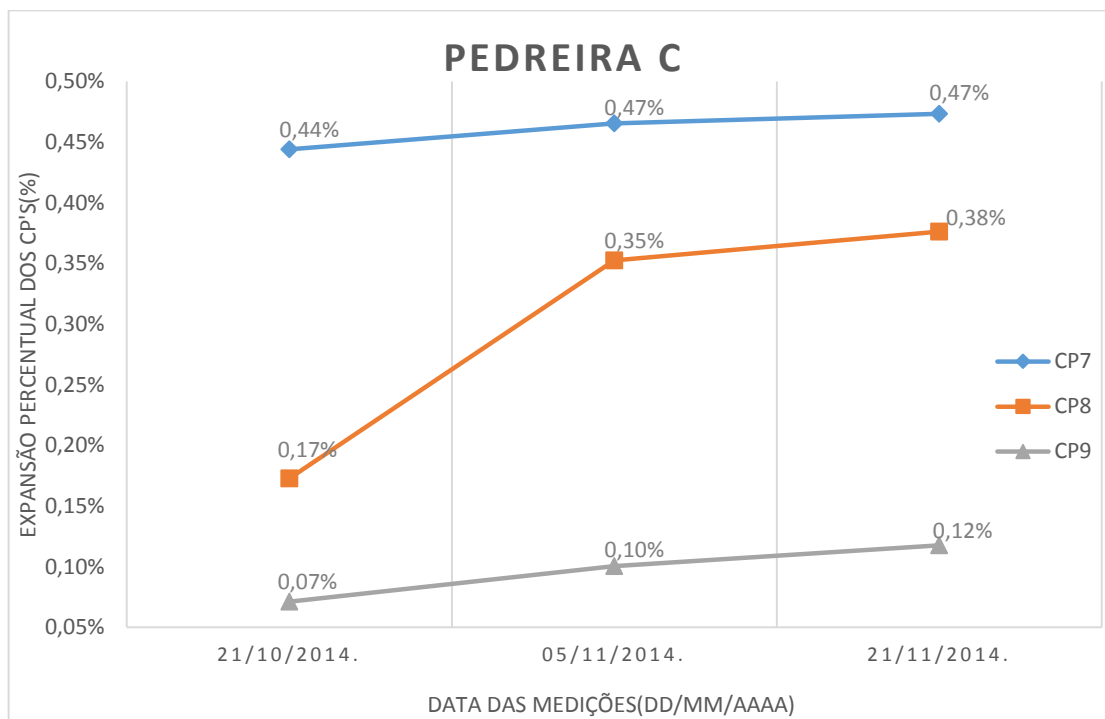


Gráfico 3- Evolução das expansões na pedra C

Fonte: Própria autoria

Por fim, ao comparar as médias de cada pedra, visualmente obteve-se a seguinte representação, conforme Gráfico 4:

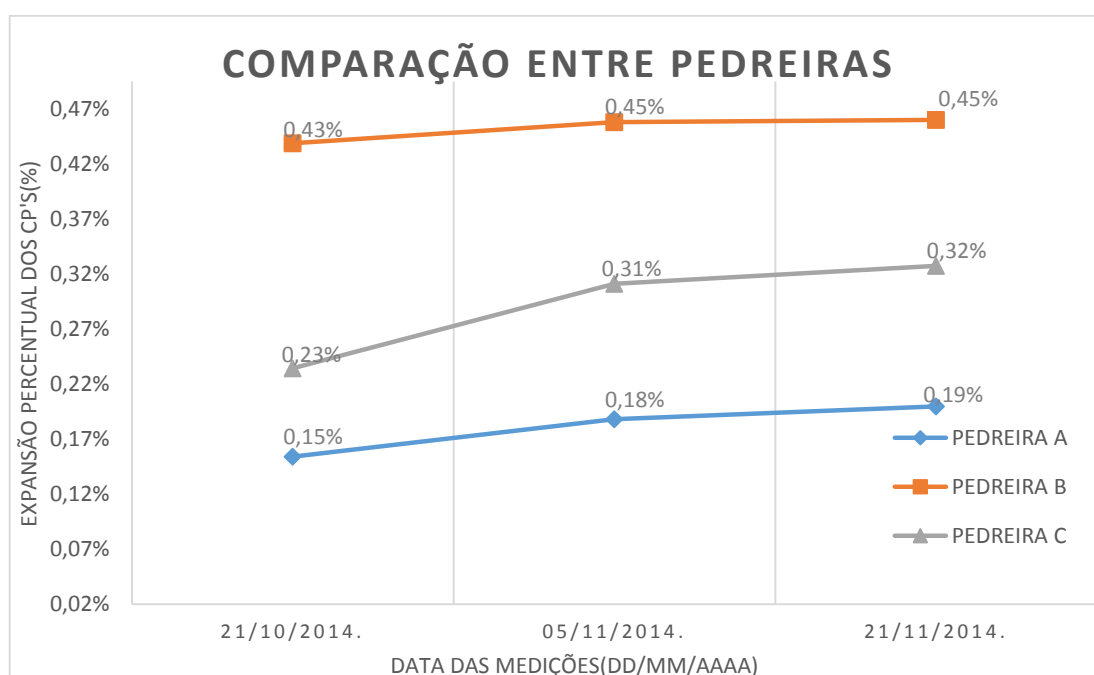


Gráfico 4 - Comparação entre a expansão das pedreiras**Fonte: Própria autoria**

Como os corpos de prova apresentaram expansões iguais ou superiores a 0,19% aos 30 dias, esta combinação cimento-agregado apresentou-se potencialmente reativa, então uma série de cuidados especiais devem ser tomados em relação a estes agregados e cimento. A normativa da ABNT NBR 15577-1(2008) recomenda então nestes casos que seja realizado o ensaio em prismas de concreto conforme NBR 15577-6 ou avalie-se a mitigação da expansão conforme NBR 15577-1 ou, por fim, seja escolhida outra combinação cimento-agregado. Outras pesquisas disponíveis no meio técnico trabalharam com agregados diferentes, de formações basálticas diferentes, a exemplo de Hasparyk(2007) e Valduga(2002), então não se torna interessante comparar estes resultados de expansões, pois gnaisse e basalto possuem comportamentos e matriz mineral diferentes.

Controlar todas as adversidades e problemas que surgiram ao longo do ensaio foi uma tarefa árdua, entretanto tudo correu conforme o planejado. O tratamento de dados foi feito de forma bem simplificada, adotou-se médias aritméticas da coleta de dados em triplicata, não foi adotado nenhum coeficiente de co-variação dado o pequeno N-amostral. Entretanto a coleta de dados se mostrou eficaz, pois os resultados obtidos apresentaram-se de forma coerente entre, havendo discrepância de valores no caso da pedra B, esta por sua vez localizada numa jazida de basalto de olivinas, que além de expansivas devido à RAA, expandem na presença de água (Thomaz, 1984).

Enfim, os resultados apontam para uma série de cuidados especiais a serem tomados quanto ao emprego destes agregados analisados na construção civil.

6.2 PRINCIPAIS FATORES CAUSADORES DAS RAA's

Acerca da bibliografia pesquisada, alguns fatores se mostraram importantes contribuintes nos mecanismos de expansão por RAA. Abaixo serão abordados as principais causas elencadas:

6.2.1 Agregados

Quanto à natureza do agregado, Ferraris (2000) e Hasparyk (2005) apontam que a presença da sílica amorfa é um forte indicador de reatividade de agregado, visto que a matriz reagente do grupo Silanol (SiOH) está presente neste tipo de grupo mineral. Quanto à granulometria, Valduga (2002) aponta que quanto menor a dimensão dos grão de agregado reativo, maior é a sua potencial reatividade, visto que maior será a sua superfície específica. Paulon (1981), aponta que as sílicas amorfas estão presentes em muitos grupos minerais visto que o silício é um materiais mais abundantes do planeta, junto com a água e o nitrogênio. Em consulta às pedreiras visitadas durante a pesquisa, foi informado que os agregados comercializados em Campo Mourão são do tipo Basalto melafírico. Apesar de Sanchez(2008) apresentar o basalto como sendo um agregado naturalmente inócuos comparados aos quartzitos e miolitos, principalmente por apresentarem teores de sílica inferiores a 52%, Sanchez verifica que Basaltos meláfíros e porfíricos possuem bastante vidros vulcânicos, ou seja pouco cristalizados. Cunha (2008), em suas pesquisas aponta que o Basalto abundante na região sul e sudeste do brasil é potencialmente reativo em seus testes segundo a ASTM C1260, portanto qualquer agregado com base de sílicas pouco cristalizadas deve ser ensaiado e se apresenta como fator de risco.

6.2.2 Cimento e o teor de álcalis

No cimento existe uma grande quantidade de sódio (Na) e potássio (K), Dechichi (1998) expões que cimentos com teores de álcalis menores que 0,6% não são garantia de que a RAA não vai ocorrer, entretanto a substituição de cimento por adições minerais ou artificiais reduz o uso de cimento por m³ de concreto, e isto pode implicar num fator importante. Ou seja, a proporção de cimento, enriquecido em álcalis, incorporada ao concreto influencia na reatividade RAA.

6.2.3 Condições de temperatura e de umidade

Sanchez (2008), aponta que a umidade necessária para o desenvolvimento das reações álcali agregado é de no mínimo 80%, Hasparyk (2008) apresenta valores de cerca de 85%. De modo unânime a literatura aponta que elevadas temperaturas catalisam as reações RAA. Entretanto, para o ensaio acelerado, que tem duração de cerca de 30 dias, estas condições são exageradas e a temperatura é de 80 graus Celsius e a umidade de 100%.

6.2.4 Condições de uso do concreto

Um fator importantíssimo que é apontado por Helene (2005), é a reação água/cimento, pois esta favorece a permeabilidade do concreto e através desta os vetores e a umidade pode acessar a matriz da solução de gel do concreto e assim desencadear as reações. Portanto é muito importante cuidar a permeabilidade do concreto. Outra questão muito importante a se observar é a taxa de armadura dos concretos, pois segundo Sanchez(2008), a reação álcali agregado insere tensões de tração na matriz do concreto e isso origina fissura, mal que é combatido com maior taxa de armaduras.

6.3 A MITIGAÇÃO DA RAA

A substituição de cimento Portland por minerais e escórias da siderurgia vem se mostrando um grande agente mitigador das reações álcali-agregado, Cândido (2009) aponta que o uso de adições de nitrato de lítio mostra-se eficaz na mitigação das reações álcali-agregado onde até 50% das expansões são contidas, uma dificuldade do emprego do lítio é a metodologia de seu emprego no concreto, a exemplo da impregnação eletroquímica de lítio no concreto. Outra possibilidade, apontada por Zolett (2012), é a de se empregar escória de aciária no combate das expansões resultantes de RAA através da substituição parcial de cimento pela mesma, sendo que a aciaria é subproduto da produção de aço e é considerada refugo na indústria metalúrgica, ainda segundo Zolett (2012) a indústria do aço produziu em 2010 cerca de 4,1 milhões de toneladas deste rejeito, coisa que traz implicações de sustentabilidade e eco design.

Silveira (2007), propõe em seu estudo o uso de cinzas de casca de arroz em adição aos cimentos, para produção de cimento CPV-ARI, provando-se um ótimo mitigador das reações álcali-agregado, outro estudo que endossa essa proposta é o trabalho de Weber (2001), que também aponta para a vantagem da sensível redução na necessidade de água para atingir o ponto de cura do concreto armado.

A norma ABNT NBR 15577-5 propõe a combinação de sílica ativa e metacaulim a qualquer tipo de cimento Portland, sendo observadas as condições e submetendo-se o concreto ou argamassa ao ensaio da 15577-4, para comprovar a eficácia da combinação adotada.

Por fim, uma outra medida que é de forma unânime abordada na literatura e que possui alto grau de aceitação é: A escolha de cimentos com altos teores pozolânicos e evitar agregados suscetíveis ao desenvolvimento da reação, o que seria ideal em condições favoráveis, mas nem sempre é possível devido às limitações que comumente se enfrenta na prática de grandes obras, principalmente em execução obras-de-arte ferroviárias e barragens.

Particularmente, ambas as opções ainda não passaram completamente pela prova científica, entretanto não foram até então falseadas, logo sua aplicabilidade fica a critério do construtor e dos técnicos da engenharia envolvidos nas escolhas dos materiais. Critérios tais como viabilidade financeira, viabilidade técnica, impactos ambientais e impactos sociais devem sempre ser levados em conta.

7 CONCLUSÃO

Diversos desafios foram superados ao longo do ensaio realizado, a princípio houve uma série de dificuldades de ordem técnica: Dificuldade de se conseguir uma estufa capaz de compartimentar uma solução de NaOH, que é volátil e corrói as paredes dos equipamentos, dificuldades de ordem técnica de não poder se controlar as condições externas do ambiente, visto que o experimento foi realizado durante o verão brasileiro e que o laboratório não dispunha de ar condicionado, sendo assim necessário adaptar os horários dos procedimentos, de forma a efetuar as medições em horários com temperaturas mais amenas, a exemplo dos fim-de-tarde.

É fato que, o ensaio das barras de argamassa adotado pela norma brasileira é, na verdade, uma visível adaptação do ensaio ASTM C1260, entretanto de acordo com alguns pesquisadores, a exemplo de Sanchez (2008), a normativa brasileira apresenta valores de expansões mais próximas às reais expansões que ocorrem no concreto armado, utilizado em edificações.

Os resultados não deixam mentir, o basalto é um material não inócuo e deve ser ensaiado, mesmo que aparentemente as taxas de sílica em sua matriz sejam menos elevadas do que em quartzos. Também vale lembrar a importância das medidas de mitigação, pois ao se construir em ambientes afastados de grandes centros de distribuição de matérias, o concreto moldado in loco possui menos controle tecnológico em relação aos concretos usinados e a qualidade dos agregados deve ser

submetida a uma bateria de ensaios, a fim de garantir maior assertividade nas especificações de projeto e dimensionamento, além de atender as normativas de desempenho das edificações.

A região de Campo Mourão se encontra numa zona geográfica privilegiada, pois dela é possível explorar a extração de britas basálticas, que é tida por muitos como um excelente material para britagem, por seus aspectos mecânicos, visuais e químicos, entretanto vale o alerta de que este material não tem comportamento próximo do idealizado, logo devem ser sempre tomados alguns cuidados quanto ao seu emprego no concreto armado.

Battagin (2008), apresenta uma sugestão quanto a necessidade dos ensaios de suscetibilidade à reação álcali-agregado e necessidade de ensaios: Sugere-se, ações preventivas mínimas para elementos maciços de concreto com menor dimensão da seção transversal de 1m, ações preventivas moderadas para concretos em contato direto e permanente com água e/ou umidade. Sugere-se que não há necessidade para estruturas provisórias ou estruturas correntes de edifícios habitacionais ou comerciais onde não haja contato direto com umidade. Entretanto obras de arte de engenharia, estádios, barragens, fundações e usinas geradoras exigem medidas preventivas mínimas a moderadas.

As medidas mitigadoras da norma brasileira visam classificar o risco das estruturas à RAA, conforme a figura acima, determinam também o grau de intensidade das mitigações. E assim permitem a escolha de adições minerais aos cimentos, elencando a sua efetividade de combate a RAA.

O futuro da indústria da construção civil é promissor, mas não deve ser esquecido a qualidade e o incentivo ao desenvolvimento tecnológico do setor, construir é uma tarefa fácil, mas construir com qualidade e durabilidade não é tão simples assim. Para assegurar que as empresas do setor se adequem as normativas, muito se deve proceder, mas com base nos conhecimentos adquiridos pelo meio científico nacional e internacional e a fiscalização constante, é de se esperar que muitos avanços sejam conseguidos no Brasil.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: 2005.

_____.**NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimentos. Rio de Janeiro, 2003. 170 p

_____.**NBR 12655**: concreto de cimento Portland – preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro: 2006a.

_____.**NBR 15577-1**: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro: 2008a.

_____.**NBR 15577-2**: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 2: Coleta, preparação e periodicidade de ensaios de amostras de agregados para concreto. Rio de Janeiro: 2008b.

_____.**NBR 15577-3**: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em (LAPA, 2008)presença de álcalis do concreto. Rio de Janeiro: 2008c.

_____.**NBR 15577-3**: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto. Rio de Janeiro: 2008c.

_____.**NBR 15577-4**: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro: 2008d.

_____.**NBR 15577-5**: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 5: Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro: 2008e.

_____.**NBR 15577-6**: Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 6: Determinação da expansão em prismas de concreto. Rio de Janeiro: 2008f.

_____. **NBR 15575-2**, Edificações Habitacionais - Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro: 2013

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Agregados para a Construção Civil**. 2007.

Disponível em: < <http://anepac.org.br/wp/wp-content/uploads/2011/07/DNPM2009.pdf>> Acesso em: 20 Jun. 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM C1260/05a**: Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (Mortar-bar method). Philadelphia: 2005.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE. **ACI 221-R98**. State-of-the-Art Report on Alkali-Aggregate Reactivity. ACI Journal: Proceedings, ago. 1998

ALVES, J. E. D.; BRUNO, M. A. P. **População e crescimento econômico de longo prazo no Brasil**: como aproveitar a janela de oportunidade demográfica? 2007.

Disponível em: <www.ie.ufrj.br/datacenter/ie/pdfs/seminarios/pesquisa/exto1311.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2014.

ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. **Manual de Agregados para a Construção Civil**. CETEM, 2008.

BONATO, L.C. **Ictiofauna em uma área de confluência entre corpos hídricos no município de Campo Mourão, Paraná**. III Simpósio Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <<http://www.cm.utfpr.edu.br/ocs/index.php/siaut/IIISIAUT/search/authors/view?firstName=Luciano&middleName=Cezar&lastName=Bonato&affiliation=&country=>>> Acesso em 19 Jun. 2014.

BOTELHO, M.H.C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

CAMARA BRASILEIRA DA INDUSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **A produtividade da Construção Civil brasileira**, 2014. Disponível em:

<<http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/066.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2014.

CÂNDIDO, W. F. **Estudo de tratamentos com lítio no combate a reação alcali-agregado**, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás.

CARVALHO, R.C. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. Vol.1, Ed.3. São Carlos: Editora UFSCAR , 2009.

CARDOSO, F.H. **Incentivo do Estado e Desenvolvimento: Uma Análise Sobre o Crescimento da Área da Construção Civil**. 2013. Disponível em <<http://www.uel.br/eventos/semanacsoc/pages/arquivos/GT%208/Cardoso%20Fernando%20Henrique%20-%20Artigo.pdf>> Acesso em: 15 jun. 2014.

CUNHA, F. A. DA. Efeito de adições ativas na mitigação das reações álcali-sílica e álcali-silicato. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP Departamento de Engenharia de Construção Civil**, 2008. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/bt_00498.pdf>. Acesso em: 18 de Nov. 2014.

DECHICHI, M. **Reação alcali-agregado : Estudo das propriedades elasticas e mecanicas atraves da utilização de inibidores**, Campinas, 2002. Dissertações (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

FERRARIS, C.F. **Alkali-Silica Reaction and High Performance Concrete**. Gaithersburg, 1995. National Institute of Standards and Technology Journal, ago 1995.

FUSCO, P.B. **Estruturas de Concreto**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, v. 1, 1976.

FUSCO, P.B. **Tecnologia do Concreto Estrutural**. São Paulo: Editora PINI, v. 1, 2008.

HASPARYK, N. P. **Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado**. Porto Alegre, 2005.326 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HELENE, P. *Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto*. São Paulo: Editora Rehabilitar, 2005.

HOBBS, D.W. **Alkali-silica reaction in concrete**. London: Thomas Telford, 1988. 183p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISA ECONOMICA APLICADA. **A Década Inclusiva (2001-2011): Desigualdade, Pobreza e Políticas de Renda**. 2012.

Disponível em

<http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/comunicado/120925_comunicadoadoipea155_v5.pdf> Acesso em 18 jun. 2012.

KLEIN, C; HURLBUT, C.S. (1973) - **Manual of Mineralogy** - after J.D. Dana. Ed. John Wiley & Sons, INC. New York, USA, 2ª Edição, 681pp.

KUPERMAN, S. C. ; SALLES, F. M. ; PINFARI, J. C. ; CARNEIRO, E. F. **A CESP e a Detecção da reação álcali-agregado**. In: 26º Seminário Nacional de Grandes Barragens, 2005, Goiânia. *Anais...* Rio de Janeiro: CBDB, 2005.

LAPA, J.S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. Belo Horizonte, 2008. 51 f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais.

MINEROPAR. Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná. Disponível em <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/2_Geral/Geomorfologia/Atlas_Geomorfolologico_Parana_2006.pdf> Acesso em 20 Jun. 2014

MINEROPAR. Mapas Geológicos do Estado do Paraná. Disponível em<<http://www.mineropar.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=154>> Acesso em 19 de Julho de 2014>

NOGUEIRA, K.A. **Reação álcali-agregado: diretrizes e requisitos da ABNT NBR 15577/2008**. Belo Horizonte, 2010. 93 f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais

PAULON, V.A. **Reações álcali-agregado em concreto**. São Paulo, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1981. 125p.

PETRUCCI, Eládio G. **Concreto de Cimento Portland**. Porto Alegre: Editora Globo, 1973

POGGIALI, F.S.J. **Durabilidade de estruturas de concreto em usinas siderúrgicas**. 2009. 81 f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais.

QUARESMA, L.F. **Perfil da brita para Construção Civil**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral- SGM Disponível em <
http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P22_RT30_Perfil_de_brita_para_construcao_civil.pdf> Acesso em: 3 jun. 2014.
2014

BATTAGIN, Inês Laranjeira da Silva. Battagin, Arnaldo Forti. Neto, Claudio Sbrighi. **Reação Álcali-Agregado – A Nova Norma Técnica Brasileira**. *Anais*. 50º Congresso Brasileiro do Concreto. Ibracon/BA,2008.

ROQUE, J.A., MORENO JUNIOR, A.L., **Considerações sobre a vida útil do concreto**, 2005, Primeiro Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado.

ROCHA, J.A. **Eixo Temático: Geografia Física E Educação Ambiental: Desafios Contemporâneos**. 2014. Revista Geonorte. Disponível em: <
http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/attachments/009_MUSEU%20DE%20GEOLOGIA%20DA%20FECILCAM.pdf> Acesso em 10 Mai. 2014

SANCHEZ, L. F. M. **Contribuição ao estudo dos métodos de ensaio na avaliação as reações álcali-agregado em concretos**. São Paulo, 2007. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SWAMY, R.N. **The Alkali-Silica Reaction in Concrete**. 1. Ed London: Black and Son Ltd., 1992. P 72-95.

SILVA, CAR.; FONTOURA, J. T.F.; SANTOS, M.C.; ANDRADE, N.P.H **Métodos utilizados na investigação da reação álcali-agregado**: Simpósio Sobre Reatividade Álcali-Agregado Em Estruturas Concreto, 1997, Goiânia, 1997. p. 53-60.

THOMAZ, E. C. S. **Notas de Aula**. 1. ed. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2008.

THOMAZ, S.L. **Sinopse sobre a geologia do Paraná**. Boletim de geografia da Universidade Estadual de Maringá. Disponível em <
<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/12276/7412>>
Acesso em 29 Jun. 2014

TIECHER, F. **Reação álcali-agregado: avaliação do comportamento de agregados do sul do Brasil quando se altera o cimento utilizado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. 2006. 182p.

VALDUGA, L. **Reação álcali-agregado - mapeamento de agregados reativos do estado de São Paulo**. Campinas, 2002. 119 f. Dissertações (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.