



**ESTUDO COMPARATIVO DA POTENCIALIDADE REATIVA DOS
AGREGADOS COLETADOS EM DIFERENTES JAZIDAS LOCALIZADAS
NA REGIÃO DE SÃO PAULO.**

SÃO PAULO
2021



ANGELICA SOUSA DOS SANTOS
TEREZA RACHEL COELHO MORAIS

**ESTUDO COMPARATIVO DA POTENCIALIDADE REATIVA DOS
AGREGADOS COLETADOS EM DIFERENTES JAZIDAS LOCALIZADAS
NA REGIÃO DE SÃO PAULO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em Patologia das Obras Civas, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Civas.

Orientador: Prof. Msc. Luís César De Luca.

SÃO PAULO
2021

AGRADECIMENTOS

Tecemos inicialmente os agradecimentos a Deus, por ter nos destinado a oportunidade de desenvolvermos este trabalho juntas, com respeito e compromisso mútuo.

Agradecemos a essencial e estimada colaboração do nosso companheiro Alexandre Machado da Silva, que muito contribuiu nas conquistas do desenvolvimento dos ensaios realizados no IPT.

Aos nossos queridos e imprescindíveis familiares, que nos apoiaram ao longo da jornada acadêmica onde, por muitas vezes, abdicamos de momentos de lazer em família para nos empenharmos no desenvolvimento da linha de pesquisa.

Agradecemos primordialmente à todas as empresas colaboradoras (Jazidas e Empresa de Serviço de Concretagem) pelas doações dos materiais para realização do estudo experimental, e também, a colaboração do Eng.^o Dr. Carlos Britez referente à orientação do tema a ser abordado nesta linha de pesquisa, e ao Eng.^o Marcio Nascimento, o qual teve contribuição fundamental nas tratativas para as visitas nas Jazidas.

Não obstante, agradecemos o Laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT, fazendo menção ao Laboratorista Sr. Roberto Ferreira de Lima e aos demais profissionais diretamente envolvidos nesta pesquisa: Geól. Eduardo Brandau Quitete, Eng.^o Rafael Francisco Cardoso dos Santos e Eng.^a Karoline Mariana Gonçalves, que tanto nos ajudaram, e substancialmente nos motivaram a esmiuçar o entendimento sobre a referida pesquisa.

Por fim, agradecemos ao Prof. Msc. Luís César De Luca pela estimada colaboração na orientação deste trabalho, sempre com muito trato nas explicações e direcionamentos.

RESUMO

Neste estudo foi realizada uma análise comparativa sobre a suscetibilidade de vários agregados graúdos, coletados em regiões distintas do estado de São Paulo, a participarem da reação expansiva álcali-agregado. Para a obtenção dos resultados de potencialidade reativa dos agregados, adotou-se o método de ensaio acelerado, de acordo com a NBR 15577-4 (ABNT, 2018), o qual prescreve a execução de barras de argamassa elaboradas com uso de um cimento padrão, as quais ficam imersas em solução de hidróxido de sódio em estufas com temperatura controlada e mantida em 80 °C no período de 30 dias, realizando eventualmente as leituras especificadas em (horas/dias), conforme prescrito na norma. As amostras analisadas identificaram, em sua maioria, agregados potencialmente reativos, indicando que a utilização do material não aplicado é recomendada em concretos destinados a elementos estruturais enterrados e com presença de umidade, como fundações e/ou usinas hidrelétricas, todavia, nada impede a utilização do material em concretos destinados a elementos estruturais livres de contato com umidade.

Palavras chave: Reação Álcali-Agregado; RAA; Concreto, Potencialidade Reativa; Agregados.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo executivo da linha de pesquisa (elaboração própria, 2020).	11
Figura 2 – Fatores condicionantes para a ocorrência da RAA (SBRIGHI NETO; QUITETE; BATTAGIN, 2018).	20
Figura 3 – Fissuração na Ponte Paulo Guerra (HELENE et al., 2016).	21
Figura 4 – Quadro fissuratório intenso em blocos de fundação de edificação na Região Metropolitana do Recife – PE (ANDRADE, 2006).	21
Figura 5 – Efeito da umidade relativa na expansão do concreto devido à reação álcali-agregado (POOLE, 1992).	22
Figura 6 – Reação química da RAA. (ABCP, 2020)	23
Figura 7 – Mecanismo da reação química. (ABCP, 2020).....	23
Figura 8 – Formação do gel sílico alcalino. (ABCP, 2020)	24
Figura 9 – Expansão do gel sílico alcalino. (ABCP, 2020).....	24
Figura 10 – Bloco de fundação de um edifício em Recife/PE, com fissuras devido à RAA. (ABCP, 2020).....	25
Figura 11 - Detalhe de lâmina petrográfica, mostrando agregado contendo calcedônia reativa (sílica criptocristalina) (SBRIGHI NETO; QUITETE; BATTAGIN, 2018)....	37
Figura 12 - Planta e corte longitudinal dos moldes (ABNT, 2018).	39
Figura 13 – Mapa do estado de São Paulo representando as regiões de coleta dos materiais (agregados), classificados como potencialmente inócuo e/ou potencialmente reativo (elaboração própria, 2020).	43
Figura 14 - Procedimentos de identificação e compartimentação dos agregados (acervo próprio, 2019).....	44
Figura 15 - Moagem dos materiais (acervo próprio, 2019).....	45
Figura 16 - Processo de peneiramento manual do material (acervo próprio, 2019). ...	45
Figura 17 – a) Peneirador elétrico vertical b) Materiais devidamente separados após peneiramento (acervo próprio, 2019).	46
Figura 18 - Lavagem em água corrente e cristalina até remoção de todas as partículas pulverulentas (acervo próprio, 2019).....	46

Figura 19 - Remoção do excesso de água com sugador manual (acervo próprio, 2019).	46
Figura 20 - Secagem das frações das amostras em estufa a 100 °C por mais de 24h até obter uma constância de massa referente a 0,5% (acervo próprio, 2019).	47
Figura 21 - Pesagem do cimento-padrão e água deionizada em balança de precisão (acervo próprio, 2019).	48
Figura 22 - Pesagem dos agregados em balança de precisão (acervo próprio, 2019)..	48
Figura 23 - Procedimento de mistura da argamassa (acervo próprio, 2019).	49
Figura 24 - Moldagem das barras de argamassa sendo realizada em duas camadas (acervo próprio, 2019).	50
Figura 25 – Procedimento de rasamento/nivelamento da superfície das barras de argamassa e cura inicial em câmara úmida (acervo próprio, 2019).	50
Figura 26 – Procedimento de desforma e identificação do IPT nas barras de argamassa (acervo próprio, 2019).	50
Figura 27 - Leitura inicial das barras de argamassa após 24h da moldagem (acervo próprio, 2019).	52
Figura 28 – Foto do banho termorregulador (acervo próprio, 2019).	53
Figura 29 – Expansão da argamassa com a amostra 3383/19 (Reproduzido de Relatório IPT 2019).	55
Figura 30 – Expansão da argamassa com a amostra 3385/19 (Reproduzido de Relatório IPT, 2019).	56
Figura 31 – Expansão da argamassa com a amostra 3386/19 (Reproduzido de Relatório IPT 2019).	57
Figura 32 – Expansão da argamassa com a amostra 3568/19 (Reproduzido de Relatório IPT, 2020).	59
Figura 33 – Expansão da argamassa com a amostra 3569/19 (Reproduzido de Relatório IPT, 2020).	60
Figura 34 – Expansão da argamassa com a amostra 3570/19 (Reproduzido de Relatório IPT, 2020).	61

Figura 35 – Expansão da argamassa com a amostra 3571/19 (Reproduzido de Relatório IPT, 2020).....	63
Figura 36 – Expansão da argamassa com a amostra 3344/20 (Reproduzido de Relatório IPT, 2020).....	64
Figura 37 – Expansão da argamassa com todas as amostras (Reproduzido de Relatório IPT, 2020).....	65
Figura 38 – Fluxograma relacionado às medidas de mitigação da RAA (SBRIGHI NETO; QUITETE; BATTAGIN, 2018).....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do grau de reatividade do agregado (SBRIGHI NETO; QUITETE; BATTAGIN, 2018).	27
Tabela 2 - Velocidade da pá do misturador (ABNT, 2018).....	38
Tabela 3 - Granulometria requerida do material para ensaio (ABNT, 2018).....	41
Tabela 4 - Classificação das amostras coletadas (reproduzida do Relatório IPT).	44
Tabela 5 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzida de Relatório IPT).	54
Tabela 6 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzido de Relatório IPT).	56
Tabela 7 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzido de Relatório IPT).	57
Tabela 8 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzida de Relatório IPT).	58
Tabela 9 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzida de Relatório IPT).	60
Tabela 10 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzida de Relatório IPT).	61
Tabela 11 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzida de Relatório IPT).	62
Tabela 12 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzida de Relatório IPT).	64
Tabela 13 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzida de Relatório IPT).	65
Tabela 14 – Classificação do grau de reatividade das amostras coletadas (elaboração própria, 2020).	66

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	2
RESUMO	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS	7
SUMÁRIO	8
1. INTRODUÇÃO	10
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	11
1.2. OBJETIVOS.....	11
1.2.1. OBJETIVO GERAL.....	11
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
1.3. HIPÓTESE	12
1.4. JUSTIFICATIVAS	12
1.4.1. TECNOLÓGICAS	12
1.4.2. ECONÔMICAS	13
1.4.3. SOCIAIS	14
1.4.4. ECOLÓGICAS	14
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	15
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1. PRINCÍPIOS DA REAÇÃO QUÍMICA	19
2.2. AGREGADOS.....	26
2.2.1. AMOSTRA DE AGREGADOS PARA CONCRETO: NBR 15577-2	26
2.3. ENSAIOS DE REATIVIDADE e ANÁLISE PETROGRÁFICA	28
2.3.1. ENSAIO ACELERADO (30 DIAS): NBR 15577-4:2018	28
2.3.2. ENSAIO PROLONGADO (365 DIAS): NBR 15577-6:2018	31
2.3.3. ENSAIO ACELERADO (140 DIAS): NBR 15577-7:2018	33

2.3.4. ANÁLISE PETROGRÁFICA DO AGREGADO: NBR 15577-3:2018	
---	--

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	38
3.1. ENSAIO DE POTENCIALIDADE REATIVA.....	44
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	54
4.1. RESULTADO DA POTENCIALIDADE REATIVA DO AGREGADO DA AMOSTRA 3383/19 – CALCÁRIO.....	54
4.2. RESULTADO DA POTENCIALIDADE REATIVA DO AGREGADO DA AMOSTRA 3385/19 – CALCÁRIO.....	55
4.3. RESULTADO DA POTENCIALIDADE REATIVA DO AGREGADO DA AMOSTRA 3386/19 – CALCÁRIO.....	57
4.4. RESULTADO DA POTENCIALIDADE REATIVA DO AGREGADO DA AMOSTRA 3568/19 – GRANITO	58
4.5. RESULTADO DA POTENCIALIDADE REATIVA DO AGREGADO DA AMOSTRA 3569/19 – CALCÁRIO.....	59
4.6. RESULTADO DA POTENCIALIDADE REATIVA DO AGREGADO DA AMOSTRA 3570/19 – GRANITO	61
4.7. RESULTADO DA POTENCIALIDADE REATIVA DO AGREGADO DA AMOSTRA 3571/19 – GNAISSE	62
4.8. RESULTADO DA POTENCIALIDADE REATIVA DO AGREGADO DA AMOSTRA 3344/20 – BASALTO.....	63
4.9. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DA POTENCIALIDADE REATIVA DOS AGREGADOS DE TODAS AS AMOSTRAS.....	65
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	68
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
5.2. SUGESTÕES PARA OUTROS TRABALHOS.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1. INTRODUÇÃO

A temática principal deste trabalho é o estudo da potencialidade reativa de agregados coletados em diferentes jazidas na região de São Paulo, visto que se percebe a frequente empregabilidade desses agregados em obras comerciais, residenciais e, inclusive, de infraestrutura. Com base nisto, o estudo fundamenta-se no direcionamento adequado da aplicabilidade do agregado, caso seja constatado ser potencialmente reativo, através do ensaio de reatividade álcali-agregado, atentando-se sempre ao grau de risco de ocorrência da RAA na estrutura em questão.

Sucintamente, a reação álcali-agregado (RAA) é uma manifestação patológica que ocorre no concreto através de uma reação deletéria entre os agregados e os álcalis (sódio e potássio) presentes no concreto, podendo desencadear grandes problemas estruturais, como perda de resistência e módulo de elasticidade, bem como operacionais, perdendo suas características referentes à concepção original do projeto.

Apesar de o fenômeno ter sido descoberto na década de 30 (STANTON, 1940), a partir de suas investigações sobre estruturas fissuradas de concreto na Califórnia, ainda muito se investiga sobre o comportamento da RAA já instalada no concreto e o controle de medidas mitigadoras do fenômeno.

RAA é um termo geral para descrever a reação química que ocorre internamente em uma estrutura de concreto, envolvendo os hidróxidos alcalinos provenientes principalmente do cimento e alguns minerais reativos presentes no agregado utilizado. Como resultado da reação são formados produtos que na presença de umidade são capazes de expandir, gerando fissurações, deslocamentos e podendo levar a um comprometimento das estruturas de concreto (HASPARYK, 1999).

É importante ressaltar que não foi objeto deste estudo caracterizar as pedreiras (jazidas) aonde foram coletadas as amostras, sendo pertinente à pesquisa, apenas, a análise comparativa da potencialidade reativa destes agregados. A Figura 1 representa o processo executivo desta pesquisa.

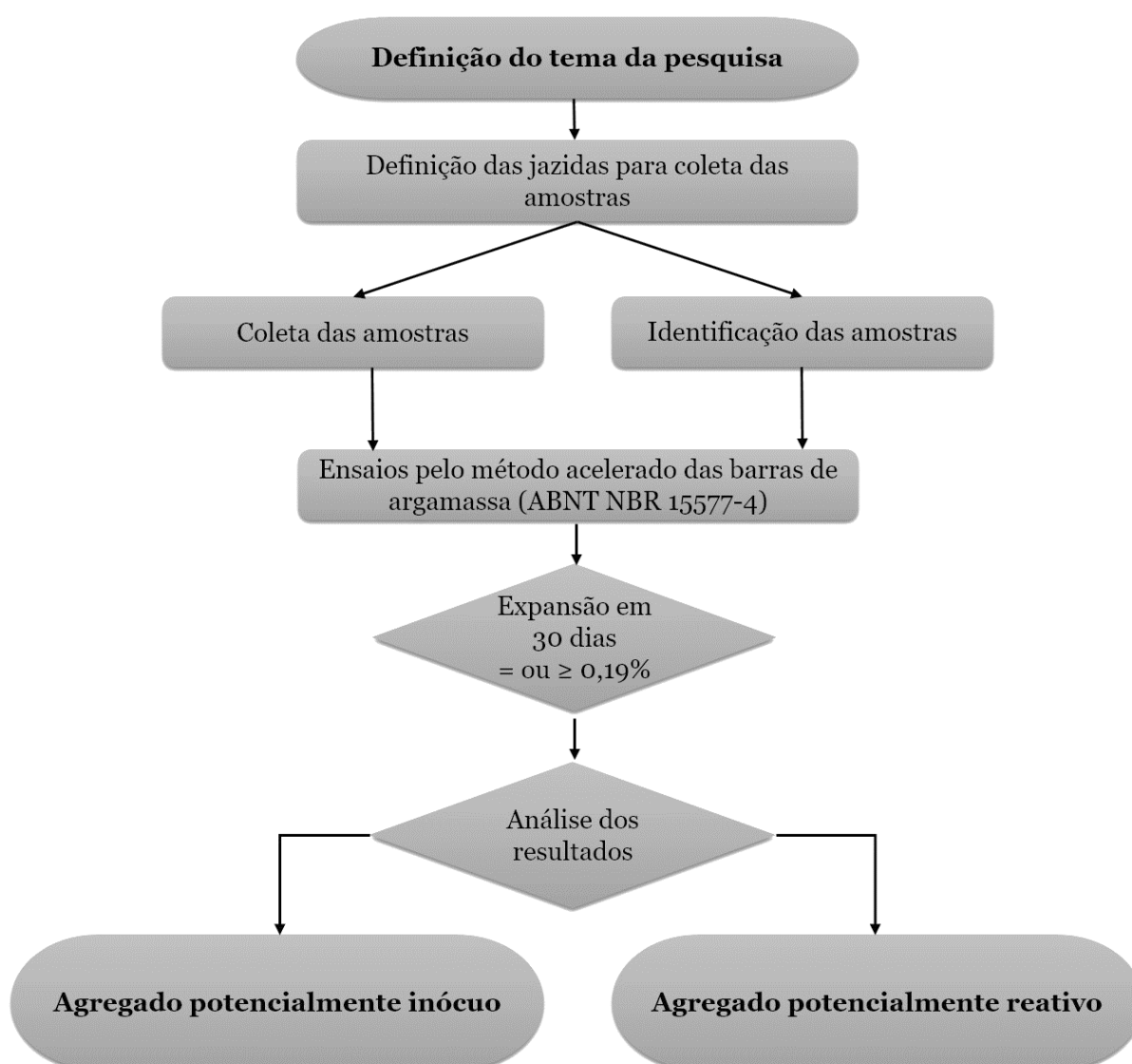


Figura 1 – Processo executivo da linha de pesquisa (elaboração própria, 2020).

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Os potenciais reativos dos agregados investigados em diferentes jazidas da região de São Paulo são similares?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Comparar a potencialidade reativa dos agregados coletados em diferentes jazidas localizadas na região de São Paulo.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Entender o processo evolutivo da potencialidade reativa das amostras coletadas;
- b. Contribuir para definição de condições de utilização dos agregados de acordo com a empregabilidade do tipo de estrutura;

1.3. HIPÓTESE

De acordo com estudos laboratoriais já apresentados em trabalhos acadêmico-científicos no mesmo seguimento desta linha de pesquisa, presume-se que os agregados coletados em diferentes jazidas na região de São Paulo não apresentem fatores similares quanto à potencialidade reativa, ainda que estes pertençam à mesma tipologia mineralógica.

1.4. JUSTIFICATIVAS

Neste item são apresentadas as justificativas tecnológicas, econômicas, sociais e ecológicas. Com base nisto, as justificativas econômicas, sociais e ecológicas irão tratar sobre uma problemática onde o fenômeno RAA está mais presente, no caso, as grandes barragens para a implantação de hidrelétricas em vários lugares do mundo, muito especificamente, sobre os impactos que isto causa.

1.4.1. TECNOLÓGICAS

A vida útil, integridade estrutural e durabilidade podem ser comprometidas e, adicionalmente, as fissurações favorecem o ingresso de íons agressivos que podem levar a outros tipos de manifestações patológicas, corroborando ao comprometimento das estruturas.

Desse modo, faz-se necessário realizar ensaios que possam caracterizar a tipologia do agregado utilizado no concreto empregado nas estruturas e, por conseguinte, determinar o método de ensaio para realizar a análise da potencialidade reativa do agregado, podendo-se adotar: o ensaio pelo método acelerado das barras de

argamassa (expansão em 30 dias), o ensaio pelo método acelerado a 60°C dos prismas de concreto (expansão em 20 semanas) e/ou o ensaio pelo método de longa duração dos prismas de concreto (expansão em 1 ano), de modo que obtenham-se resultados que indiquem as medidas mitigadoras do fenômeno patológico, de acordo com as normas brasileiras e boletins técnicos de prevenção da RAA.

1.4.2. ECONÔMICAS

Num contexto onde se tem conhecimento sobre a probabilidade de rompimento de uma barragem, inúmeros impactos sempre estarão associados aos riscos que uma tragédia dessa magnitude pode causar, não apenas no âmbito social e ecológico, mas também no cenário econômico.

Com base nisto, é sabido que a ocorrência da manifestação patológica do fenômeno RAA é predominante em barragens de concreto para implantação de hidrelétricas, tendo em vista que o concreto está em contato direto com a umidade, e não se pode desconsiderar, ainda, a perda de materiais/equipamentos que conseqüentemente ficarão submersos num eventual rompimento, sem reutilização e com remota chance de descarte adequado. São milhares de metros cúbicos de concreto desperdiçados, de certa forma, provenientes da falta de conhecimento técnico sobre o comportamento do fenômeno em questão, associado também à falta de matéria prima adequada na região, onde se constrói estas barragens.

Conforme prescrito na NBR 12655 (ABNT, 2015) recomenda-se que todos os materiais empregados no concreto sejam previamente analisados e atendam aos requisitos especificados em cada norma específica inerente aos materiais, de modo que não comprometam a qualidade da execução estrutural e, assim, contribuam positivamente na redução de custos da obra, em comparação às situações em que providências são tomadas somente quando o fenômeno já está instalado na estrutura, muitas vezes com limitações importantes para as intervenções corretivas, que se tornam copiosamente onerosas.

Em suma, considera-se relevante o emprego do conceito de análise preventiva dos materiais empregados (medidas mitigadoras), gerando economia direta para obra e garantindo a integridade estrutural, vida útil e durabilidade.

1.4.3. SOCIAIS

É importante ressaltar os riscos que a RAA pode oferecer à estrutura, e consequentemente, os impactos que podem ser gerados para uma comunidade através de um eventual acidente, como o rompimento de barragens. Desse modo, estima-se, com base nos levantamentos realizados em rompimentos de barragens de hidrelétricas e também em barragens de rejeitos naturais, que milhares de pessoas possam ficar desabrigadas, tendo de recomeçar suas vidas do zero num outro lugar, enquanto muitas outras perdem a vida.

A título de exemplo, são incalculáveis os danos que poderiam surgir de um eventual rompimento da barragem da hidrelétrica de Itaipu, tendo em vista que há registros de cunho acadêmico-científico que comprovam a ocorrência do fenômeno patológico RAA na estrutura de concreto da barragem, considerada a maior do mundo.

1.4.4. ECOLÓGICAS

Estima-se que as normas de cimento com base no desempenho, como a NBR 16697 (ABNT, 2018) e ASTM C 1157 (ASTM, 2017), tenham um papel importante no desenvolvimento dos cimentos com múltiplos compostos, no que tange ao uso de grandes quantidades de subprodutos industriais e menor quantidade de clínquer de cimento Portland.

O processo de produção do clínquer de cimento Portland não apenas consome muita energia e é caro, mas também produz grandes quantidades de CO₂, que é um gás de efeito estufa primário. Dessa maneira, espera-se que o uso do cimento Portland puro, no futuro, seja limitado a aplicações especiais, enquanto que os cimentos Portland compostos, com base em desempenho com baixo teor de clínquer Portland, encontrem uso crescente em todos os tipos de construção em concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Isto contribui favoravelmente na prevenção da RAA, uma vez que as medidas preventivas incluem uso de compostos como sílica ativa, escória, pozolana, dentre outros. Além disso, ocorre também a preservação da atmosfera com a não liberação de CO₂ por não utilizar o cimento Portland puro, bem como a diminuição do descarte de materiais no meio ambiente.

Não obstante, no que tange especificamente aos impactos ecológicos gerados através de um eventual rompimento de uma barragem de concreto pelo fenômeno RAA, ressalta-se que na área de inundação a natureza acaba se transformando. Prevê-se que o clima pode mudar, animais tendem a fugir do seu habitat natural, árvores viram madeira podre debaixo da inundação e com o tempo, tendem a liberar bolhas de gás metano, um poluente que corrói turbinas, impede a reprodução de alguns peixes e permite a proliferação de algas, causando total desequilíbrio.

Ou seja, infelizmente, muitos são os danos ecológicos que podem ser elencados, de modo que torna-se necessário ter conhecimento técnico sobre as boas práticas de execução, assim como manter o hábito de realizar as manutenções periódicas, para que, de certa forma, seja possível estabelecer um convívio aceitável, do ponto de vista da durabilidade e estabilidade estrutural com o fenômeno patológico RAA.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho foi elaborado com base nos seguintes procedimentos metodológicos: pesquisa bibliográfica para desenvolvimento da fundamentação teórica sobre a RAA, e pesquisa experimental para avaliação dos níveis de potencialidade reativa dos agregados.

A pesquisa experimental envolveu a investigação da potencialidade reativa dos agregados disponíveis na região escolhida através do método acelerado em barras de argamassa, de acordo com a NBR 15577-4 (ABNT, 2018), com resultados de expansão aos 30 dias.

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

No capítulo 1 apresenta-se o problema de pesquisa e seus objetivos, as justificativas e os procedimentos metodológicos utilizados, que são as diretrizes primárias para o desenvolvimento deste estudo.

O capítulo 2 contempla a fundamentação teórica sobre a RAA e os métodos dos ensaios para verificação da potencialidade reativa dos agregados, de acordo com as normalizações brasileiras vigentes: NBR 15577-4 (ABNT, 2018), NBR 15577-6 (ABNT, 2018) e NBR 15577-7 (ABNT, 2018).

No capítulo 3 aborda-se o programa experimental, mencionando detalhadamente os processos do método de ensaio acelerado (30 dias).

No capítulo 4 é realizada a discussão dos resultados dos ensaios desenvolvidos em laboratório, classificando todos os resultados de acordo com o nível de potencialidade reativa e, posteriormente, apresentando uma análise dos dados obtidos.

No capítulo 5 serão tecidas as considerações finais do trabalho desenvolvido e também serão apresentadas sugestões para novas linhas de pesquisas neste seguimento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresentará a fundamentação teórica pertinente ao assunto, abordando a definição da RAA, princípios da reação química, o papel dos agregados e normas brasileiras pertinentes aos métodos de ensaio e análise petrográfica.

O estudo sobre RAA teve seu marco inicial em 1940, quando Stanton fez sua primeira citação sobre a RAA na Califórnia.

O fenômeno foi identificado como uma reação deletéria interna entre os constituintes do concreto, a sílica do agregado e os álcalis do cimento. Foi denominada reação álcali-agregado. Segundo constatações experimentais realizadas por Stanton, a reação era capaz de formar eflorescências, causando fissurações similares às aquelas observadas em diversas estruturas reais afetadas na Califórnia, durante os anos de 1920 a 1930 (STANTON, 1940).

Desde então, o assunto passou a ser visto com mais notoriedade e muitos trabalhos foram desenvolvidos na tentativa de explanar os mecanismos das reações e os seus agentes desencadeadores (BICZOK, 1972; KIHARA, 1986; HOOBS, 1988; DIAMOND, 1989; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Gitahy (1963) publicou o primeiro estudo no Brasil sobre a RAA, em uma associação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) com as Centrais elétricas de Urubupungá (durante muito tempo foi a Companhia Energética de São Paulo, CESP), objetivando a utilização de cascalho como agregado na construção das Usinas Hidroelétricas de Jupia e Ilha Solteira, no Paraná.

As obras hidráulicas são as que mais apresentam este fenômeno pela grande variação de temperatura e umidade. Em categoria nacional tem destaque a UHE Apolônio Sales (Moxotó) e a Barragem de Joanes.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), as expansões e fissurações devidas à RAA podem comprometer a resistência e elasticidade do concreto afetado e, por conseguinte, a sua durabilidade.

Ressalta-se que as principais causas da instalação da RAA devem-se a presença de minerais reativos no agregado, que reagem com os álcalis provenientes principalmente do cimento (sódio e potássio). Entretanto, influências externas como a

umidade e temperatura são condicionantes importantes do processo deletério (BICZOK, 1972; KIHARA, 1986; HOOBS, 1988; DIAMOND, 1989; MEHTA; MONTEIRO, 2014).

No Brasil, a reação álcali-agregado (RAA), conhecida como um fenômeno raro e de lento desenvolvimento, foi objetivo de estudos específicos para sua prevenção na construção de obras hidráulicas durante décadas. A ocorrência da RAA em obras de edifícios foi verificada pela primeira vez na região metropolitana de Recife, em Pernambuco, devido ao interesse gerado na inspeção das fundações de diversos edifícios habitacionais após a queda do Edifício Areia Branca em 2004. Esclarece-se que as causas do desabamento desse edifício foram devidamente apuradas e nada se constatou que pudesse apontar a RAA como causa do episódio, porém, constituiu um marco em tratar a RAA de forma mais ampla (BATTAGIN, 2018).

No que se refere à normatização, o ABNT/CB-18, em 2005, iniciou a elaboração da nova norma brasileira relacionada à RAA, sendo publicada em 2008 como NBR 15577 e, inicialmente, composta por seis partes integradas. Após 10 anos houve revisão da referida norma, e fora acrescida a parte 7, com a finalidade de caracterizar mais um método de ensaio, referente a determinação da expansão em prismas de concreto pelo método acelerado aos 120 dias. Com base nessa norma, após projetar uma estrutura de concreto, é possível construí-la atuando preventivamente, minimizando e/ou eliminando os riscos da incidência da RAA.

Essa norma determina os requisitos de utilização dos agregados no concreto com vistas a mitigar a ocorrência das reações expansivas deletérias e seus efeitos, e também designa estratégia de amostragem e procedimentos de ensaios que permitem identificar a ausência ou presença dos componentes que causam a reação.

Destaca-se que, em virtude da gravidade do problema e do grande número de casos de deterioração, atualmente o Brasil se encontra com um número expressivo de estudos acadêmicos, principalmente produção de pesquisas envolvendo dissertações de mestrado e teses de doutorado, além de estudos aplicados para obras reais em laboratório e campo (HASPARYK, 2010).

2.1. PRINCÍPIOS DA REAÇÃO QUÍMICA

A Reação Álcali-Agregado (RAA) é um fenômeno patológico que pode desencadear alguns tipos de reações químicas internamente no concreto, sendo estas: a reação álcali-sílica, reação álcali-silicato e reação álcali-carbonato. Estas reações são associadas com alguns componentes mineralógicos presentes em rochas e agregados reativos usados no concreto e os álcalis (K^+ e Na^+), e associados com a presença de umidade, podem desencadear a reação química, gerando a expansão devido às tensões internas e, por conseguinte, ocasionando o quadro fissuratório e até mesmo deslocamentos, afetando diretamente a estabilidade e durabilidade da estrutura de concreto.

Assim sendo, em função do tipo e da mineralogia do agregado reativo envolvido, as reações são definidas da seguinte forma na NBR 15577-1 (ABNT, 2018, p. 2):

Reação álcali-sílica (RAS): é um tipo de reação álcali-agregado em que participam a sílica reativa dos agregados e os álcalis, na presença do hidróxido de cálcio originado pela hidratação do cimento, formando um gel expansivo. Constituem exemplos de sílica reativa: opala, tridimita, cristobalita, vidro vulcânico, entre outros. Este é o tipo de reação álcali-agregado que mais rapidamente se desenvolve.

Reação álcali-silicato: é um tipo específico de reação álcali-sílica em que participam os álcalis e alguns tipos de silicatos presentes em certas rochas. Os silicatos reativos mais comuns são o quartzo tensionado por processos tectônicos e os minerais da classe dos filossilicatos presentes em ardósias, filitos, xistos, gnaisses, granulitos, quartzitos, entre outros. Geralmente, esta reação é mais lenta do que a descrita na RAS.

Reação álcali-carbonato (RAC): É um tipo de reação álcali-agregado em que participam os álcalis e agregados rochosos carbonáticos. A forma mais conhecida de deterioração do concreto é devida à desdolomitização da rocha e consequente enfraquecimento da ligação pasta-agregado. Não há a formação de gel expansivo, mas de compostos cristalizados como a bucita, carbonatos alcalinos, carbonato cálcio e silicato magnésiano. Como a reação regenera os hidróxidos alcalinos, a desdolomitização terá continuidade até que a dolomita tenha reagido por completo ou a fonte de álcalis se esgote (ABNT, 2018, p. 2).

São três os fatores condicionantes desse fenômeno patológico deletério: as fases mineralógicas do agregado (consideradas como reativas), os hidróxidos alcalinos (sódio e potássio) e a presença da (umidade), conforme representados na Figura 2.



Figura 2 – Fatores condicionantes para a ocorrência da RAA (SBRIGHI NETO; QUITETE; BATTAGIN, 2018).

Os álcalis envolvidos no processo químico da reação álcali-agrado são derivados do sódio e potássio, conforme mencionado anteriormente. Estes, por vez, possuem a capacidade de se solubilizar para participar da reação, e podem surgir tanto de fontes internas da estrutura, como do cimento (grande parte dos casos já estudados) e de outros materiais constituintes do concreto, como agregados, adições minerais, aditivos, água de mistura, ou mesmo de fontes externas ao concreto, como águas alcalinas industriais ou marinhas. Além disso, o processo de gelo e degelo, em países que sofrem com a grande quantidade de neve, utiliza-se halita¹ como método de degelo, que pode migrar para o interior do concreto e desencadear a reação. As Figuras 3 e 4 ilustram situações da reação deletéria em estruturas de concreto no Brasil.

¹ Halita é um mineral da classe dos halóides, de composição NaCl (cloreto de sódio). Devido a sua alta solubilidade a halita é tipicamente mineral um evaporítico, estando associada a outros minerais como gipsita, silvita e anidrita em depósitos evaporíticos. Esta associação está presente, por exemplo, nas camadas de sal que estão acima das reservas de Petróleo da Bacia de Campos (pré-sal brasileiro) – **Instituto de Geociência da Universidade de São Paulo (IGc-USP)**.

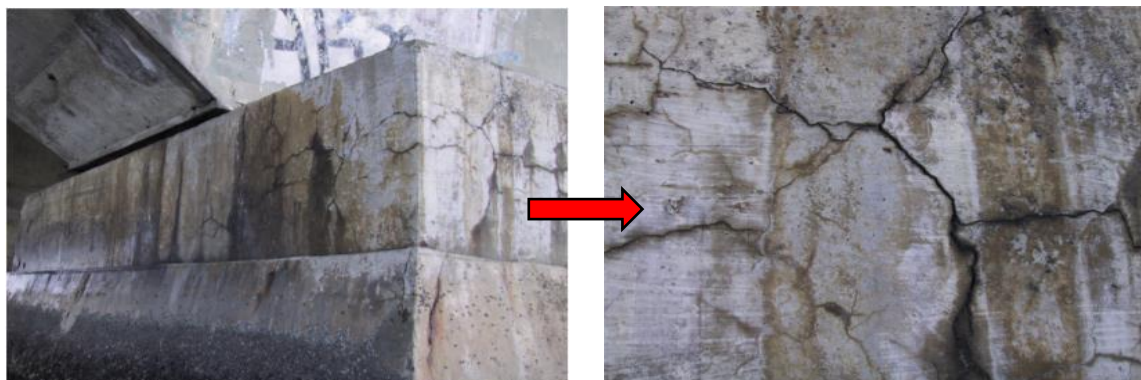


Figura 3 – Fissuração na Ponte Paulo Guerra (HELENE et al., 2016).



Figura 4 – Quadro fissuratório intenso em blocos de fundação de edificação na Região Metropolitana do Recife – PE (ANDRADE, 2006).

No que se refere à água (umidade), esta acarreta o íon hidroxila proporcionando a difusão dos íons alcalinos e também é absorvida pelo produto para utilização na hidratação e integração nos compostos em formação das substâncias expansivas, normalmente são em aspecto de gel, provocando uma pressão hidráulica na pasta de cimento e causando uma expansão anormal do concreto, que produz fissuração na estrutura.

Externamente, sabe-se que, em ambientes com umidade relativa acima de 80%, ocorre um aumento na magnitude da reação. Por isso, as estruturas localizadas em ambientes úmidos, tais como barragens, fundações de pontes e estruturas marinhas, estão mais sujeitas a esse tipo de deterioração (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Na Figura 5 podem ser evidenciados os diferentes efeitos de teores de umidade nas expansões.

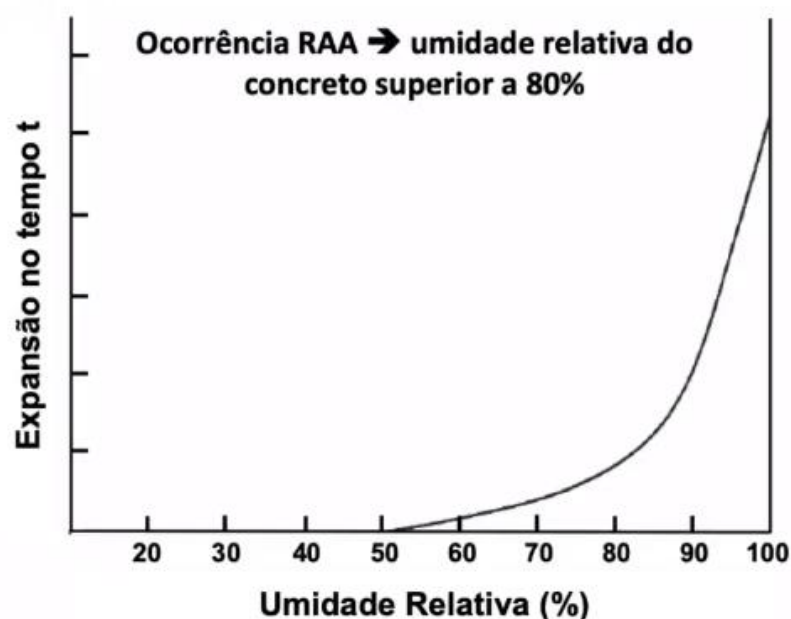


Figura 5 – Efeito da umidade relativa na expansão do concreto devido à reação álcali-agregado (POOLE, 1992).

Isto posto, é importante ressaltar que a umidade relativa interna do concreto, necessária para o desenvolvimento e a manutenção da RAA também está acima de 80% a 85%. Porém, se o concreto já possuir gel da RAA (tendo este perdido água), e estiver carbonatado, mesmo na presença de água adicional, segundo Poole (1992), é impossível que haja expansão.

Ressalta-se que, nos métodos de avaliação da RAA, considerando as condições controladas, os ensaios existentes envolvem elevada umidade, tanto os ensaios em rochas, argamassas, quanto os ensaios em concretos, acelerados ou não. Ainda, em ambiente no qual os três fatores condicionantes da RAA existam, a reação é acelerada/potencializada também por temperaturas mais elevadas.

A reação química se inicia conforme a figura 6 apresenta. O agregado da esquerda tem uma estrutura ordenada e bem cristalizada, sendo assim o ideal para ser potencialmente inócuo a RAA e o agregado da direita possui uma estrutura desordenada e mal cristalizada, essa estrutura cristalina é desarranjada atômicamente por incumbência das substâncias potencialmente reativas.

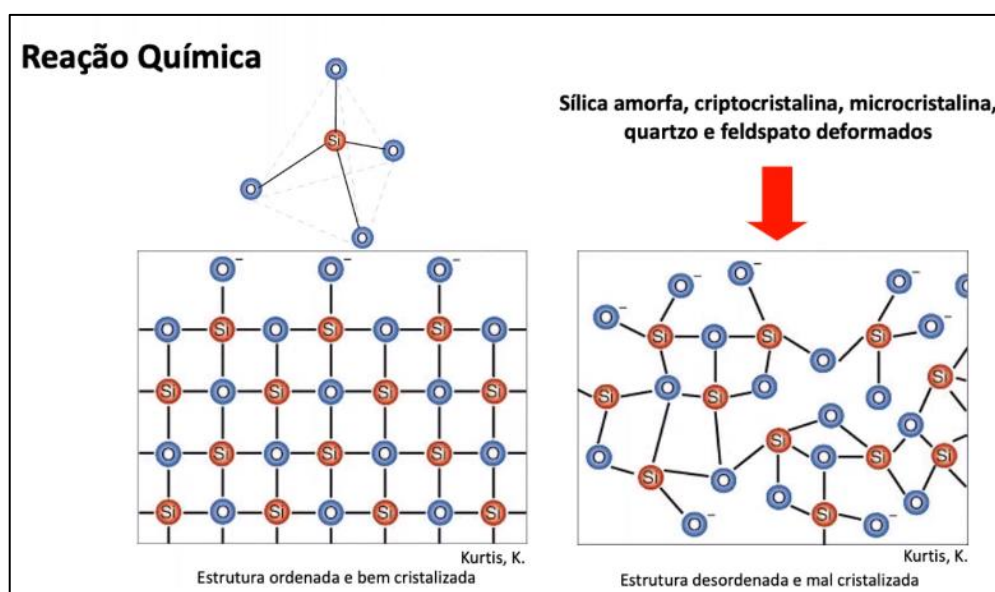


Figura 6 – Reação química da RAA. (ABCP, 2020)

De acordo com Mizumoto (2009), existente nos poros do concreto os íons hidroxila (OH^-) penetram no agregado desarranjado, atingindo e quebrando o ligamento do grupo siloxano (Si-O-Si), assim produzindo o grupo silanol (Si-OH). A figura 7 ilustra e apresenta a equação química.

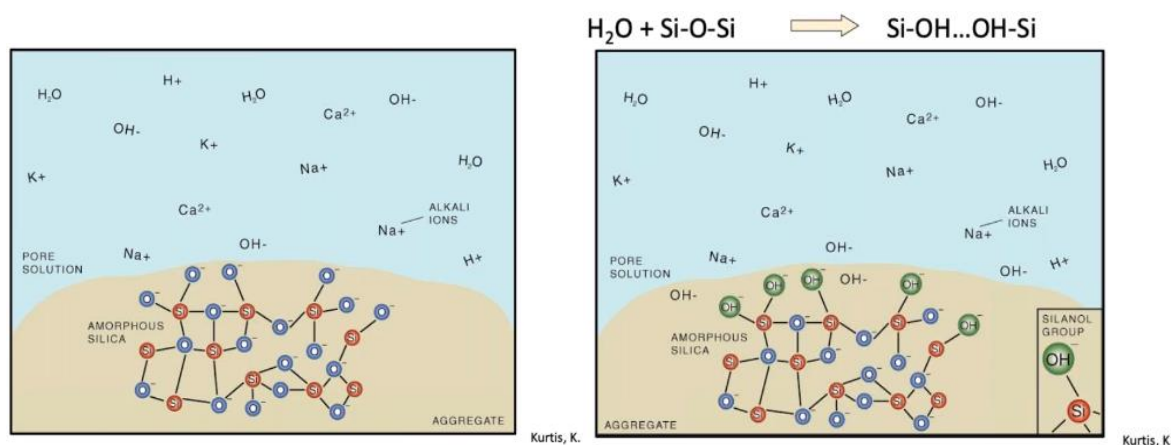


Figura 7 – Mecanismo da reação química. (ABCP, 2020)

O silanol (Si-OH) interage quimicamente com os íons hidroxila (OH^-), desvinculando a água (H_2O), produzindo os íons SiO^- desbalanceado negativamente e carregando-o para a superfície do agregado assim se associando aos cátions positivos (Na^+) dos poros e acontecendo uma neutralização, com isso é formado o gel sílico alcalino (Si-O-Na) ao redor do agregado. A figura 8 ilustra e apresenta as equações químicas.

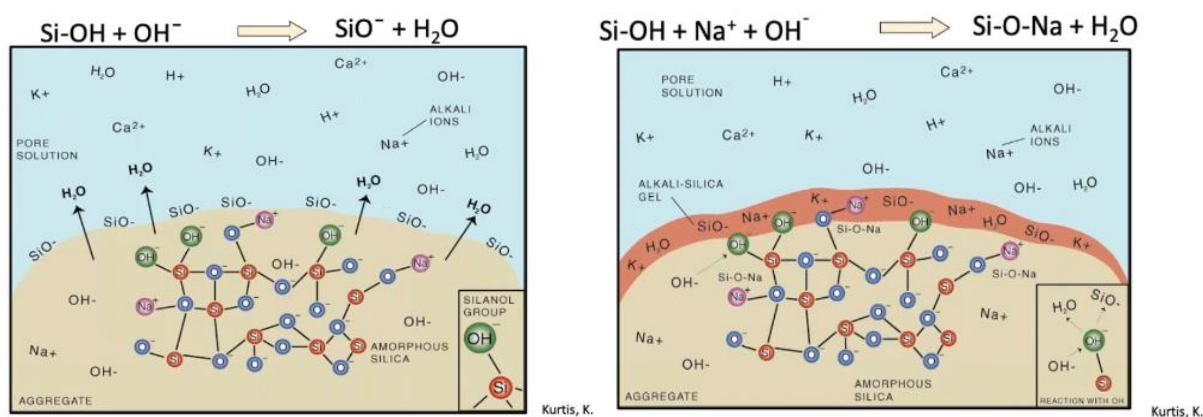


Figura 8 – Formação do gel sílico alcalino. (ABCP, 2020)

Conforme representa a Figura 9, em contato com a umidade este gel (Si-O-Na) absorve a água (H_2O) e se expande tensionando a estrutura, quando esta tensão se transcende a resistência à tração do concreto acaba rompendo a estrutura e desencadeando a fissuração, que muitas das vezes vem em aspecto “mapeada”. Essas tensões são atenuadas internamente no concreto com a fissuração da estrutura.

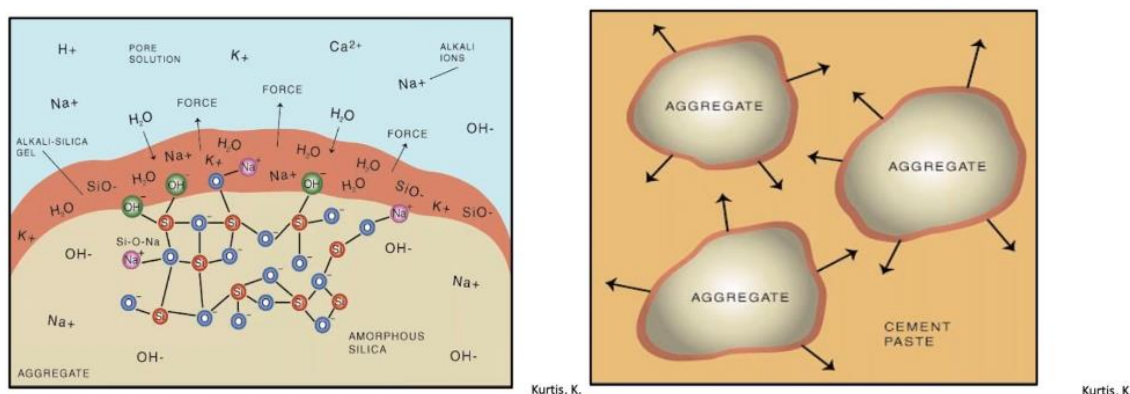


Figura 9 – Expansão do gel sílico alcalino. (ABCP, 2020)

Pode-se observar na Figura 10 a fissuração de um bloco de fundação em um edifício em Recife no estado de Pernambuco e o gel formado entorno do agregado reativo no testemunho extraído deste bloco. A reação álcali-agregado é uma reação lentamente expansiva, porém já houve diagnósticos em menos de 5 anos de idade com comprovação, todavia o comum é o fenômeno aparecer após 20, 30 ou 40 anos.



Figura 10 – Bloco de fundação de um edifício em Recife/PE, com fissuras devido à RAA.
(ABCP, 2020)

As fissuras deixam o concreto desprotegido, aumentando a permeabilidade permitindo a penetração de mais água (intensificando a reação álcali-agregado) e outros agentes agressivos, produzindo distintos fenômenos deletérios, como ataque por sulfatos, corrosão de armadura, deslocamentos, movimentação da estrutura entre outras manifestações patológicas, que acaba afetando as características, durabilidade e vida útil da estrutura.

2.2. AGREGADOS

2.2.1. AMOSTRA DE AGREGADOS PARA CONCRETO: NBR 15577-2

Esta Parte da NBR 15577 estabelece os procedimentos para a realização de coleta e redução de amostras de campo de agregados e a periodicidade de realização dos ensaios previstos na NBR 15577-1 (ABNT, 2018), para controle de produção e uso de agregados em concreto.

A amostragem deve ser realizada de acordo com a NBR NM 26 (ABNT, 2009) e o disposto a seguir:

- a) agregados produzidos por britagem da mesma rocha, diferenciados apenas pela dimensão, devem ser considerados como um único material para a análise petrográfica, conforme a NBR 15577-3 (ABNT, 2018), e o ensaio acelerado em barras de argamassa, conforme a 15577-4 (ABNT, 2018);
- b) agregados graúdos e miúdos produzidos por britagem da mesma rocha devem ser considerados como materiais distintos para o ensaio de prismas de concreto, conforme a 15577-6 (ABNT, 2018).

Sobre os procedimentos de amostragem, a coleta das amostras deve ser conduzida por profissional habilitado, que possua conhecimento ou formação para diferenciação de litotipos, aspectos texturais, estruturais e de composição mineralógica presentes na jazida a ser amostrada.

Quando a jazida se caracterizar pela presença de litotipos ou feições:

- a) diferenciadas, irregularmente distribuídas e de presumida e distinta composição mineralógica, a coleta deve ser igualmente diferenciada para cada um deles e os ensaios devem ser aplicados sobre cada uma das amostras individualizadas;
- b) indiferenciadas, ou ainda que diferenciadas com distribuição regular, indicando presença sistemática no maciço rochoso, gerando agregados homogêneos e indiferenciados, a mostra coletada deve ser única e representativa do agregado final a ser submetido aos ensaios.

No caso da amostragem de agregados presentes em pilhas de obras, depósitos comerciais ou revendas de qualquer espécie, aplicam-se os procedimentos dispostos na NBR NM 26 (ABNT, 2009).

A diferenciação de litotipos e a homogeneização dos agregados devem ser comprovados por análise petrográfica, realizada quando da caracterização necessária para a composição das amostras, tendo validade indeterminada enquanto não se comprovar alteração na variabilidade de litotipos ou feições da jazida.

Entende-se que a RAA e suas manifestações patológicas dependem não somente dos materiais e traços do concreto, mas também das condições de exposição da estrutura e/ou elemento estrutural. Desse modo, previamente à análise de risco de ocorrência da RAA, torna-se necessário conhecer o grau de reatividade do agregado. A Tabela 1 apresenta o grau de reatividade do agregado, com base em resultados de expansão em ensaios laboratoriais.

Tabela 1 – Classificação do grau de reatividade do agregado (SBRIGHI NETO; QUITETE; BATTAGIN, 2018).

Classificação da reatividade potencial do agregado	Expansão das barras de argamassa aos 30 dias (%)	Expansão das barras de argamassa aos 365 dias (%)
Potencialmente inócuo grau R0	Menor que 0,19%	Menor que 0,40%
Potencialmente reativo grau R1	Entre 0,19 e 0,40%	Entre 0,04 e 0,12%
Potencialmente reativo grau R2	Entre 0,40 e 0,60%	Entre 0,13 e 0,24%
Potencialmente reativo grau R3	Maior que 0,60%	Maior que 0,24%

Tratando-se da periodicidade de realização dos ensaios, para controle de produção de agregados graúdos ou miúdos originados da mesma jazida, a cada seis meses, no mínimo, devem ser realizados ensaios de verificação da potencialidade reativa de acordo com a NBR 15577-1 (ABNT, 2018). Independente do roteiro previsto pelo fluxograma prescrito na NBR 15577-1 (ABNT, 2018), o ensaio de prisma de concreto, conforme a NBR 15577-6 (ABNT, 2018) deve ser realizado no mínimo a cada 12 meses.

Ratifica-se que cabe ao consumidor ou seu preposto decidir se há necessidade de ensaios adicionais para controle de mitigação quanto à RAA.

2.3. ENSAIOS DE REATIVIDADE e ANÁLISE PETROGRÁFICA

2.3.1. ENSAIO ACELERADO (30 DIAS): NBR 15577-4:2018

Esta Parte da NBR 15577 estabelece o método de ensaio acelerado para determinar, por meio da variação de comprimento de barras de argamassa, a suscetibilidade de um agregado participar da reação expansiva álcali-sílica na presença dos íons hidroxila associados aos álcalis (sódio e potássio), fazendo-se uso de um cimento padrão.

Conforme disposto na NBR 15577-4 (ABNT, 2018), serão utilizados os seguintes aparelhos para o referido ensaio:

- Balanças com capacidade até 1000g;
- Peneiras com abertura das malhas de 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 850µm, 600µm, 300µm e 150µm;
- Paquímetro de escala em milímetros com medida de 300mm;
- Misturador mecânico com duas velocidades, medidas da pá e da cuba conforme descritas na norma;
- Soquete com seção transversal de 13mm x 25mm e comprimento de 150mm;
- Espátula de comprimento entre 100mm a 150mm;
- Recipientes para as barras serem imersas na água ou solução NaOH;
- Moldes de seções descritas na norma;
- Comparador de comprimento que permita uma leitura de 0,001mm;
- Barra-padrão para verificação do comparador de comprimento;
- Estufa ventilada ou banho termorregular a $(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Adiante estão relacionados os reagentes necessários para execução do traço experimental:

- Hidróxido de sódio (NaOH);
- Água que deve ser destilada ou deionizada e estar na temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$;
- Solução de hidróxido de sódio.

Antes do ensaio, deve-se coletar uma amostra do agregado que será empregado na construção. Na sala de moldagem, os materiais secos devem estar em temperatura de $(24 \pm 4) ^\circ\text{C}$; a água de amassamento e da câmara úmida devem ter temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$; e a estufa ventilada ou banho termorregulador (local de armazenamento das barras de argamassa) deve ser mantido em temperatura de $(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Ter umidade relativa de maior ou igual a 50% na sala de moldagem e maior ou igual a 95% da câmara úmida.

Deve-se então fazer a moagem da brita para atingir a granulometria do material, classificada de acordo com as aberturas das malhas das peneiras, sendo que o material retido na peneira 4,75mm não é utilizado.

Coloca-se o material na sequência de peneiras e conduz-se o peneiramento elétrico por 5min. após a separação do agregado deve-se peneirar mais duas vezes para coleta final do material, lavar cada fragmento em água corrente e cristalina para remoção de todas partículas pulverulentas; tira-se o excesso de água com um sugador manual e para a secagem das frações da amostra, armazenar em recipientes limpos e levar a uma estufa a $100 ^\circ\text{C}$ até obter uma massa constante.

Na dosagem da argamassa utilizar uma relação água/cimento 0,47, sendo assim 440g de cimento padrão, 206,8g de água deionizada e 990g de agregado, pesar todos os materiais na balança e separá-los para a mistura da argamassa.

Para realizar esta mistura colocar inicialmente no misturador mecânico toda a quantidade de água e acrescentar o cimento, após este contato água/cimento misturar estes materiais por 30s em velocidade baixa. Sem interromper esta mistura acrescentar com cautela o agregado com todas as frações (anteriormente homogeneizadas), gradualmente no intervalo de 30s, em seguida aumentar para a velocidade alta e deixar por mais 30s.

Posteriormente desligar o misturador; durante os primeiros 15s com a espátula remover a argamassa que ficou aderida nas paredes da cuba e na pá, nos próximos 1 min e 15s deixar a argamassa em descanso na cuba coberta com um pano úmido, em seguida misturar na velocidade alta por mais 1min.

Para preparação dos moldes é necessário a aplicação de uma fina camada de óleo mineral, somente após esta camada são colocados os pinos em suas posições, limpos e sem resíduos do óleo; e a sua medida interna tem que ser igual $250 \pm 2,5\text{mm}$. Com a espátula colocar no molde a argamassa em duas camadas aproximadamente iguais, adensar cada camada com 20 golpes com uso de soquete, trabalhar a argamassa nos pinos para melhor aderência. Após a segunda camada faz-se o rasamento e alisamento da superfície da barra de argamassa, com uma espátula.

Em seguida, as barras de argamassa devem ter a cura inicial em câmara úmida a $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ durante $(24 \pm 1) \text{h}$ com a superfície protegida de respingos. Após a cura, realizar o desmolde das barras, limpar as superfícies para tirar o excesso de óleo e numerar as barras com giz, de forma que as leituras sejam feitas sempre na mesma posição da barra.

Fazer a primeira leitura das barras antes de serem colocadas no recipiente de armazenamento, este recipiente deve estar com água suficiente para que as barras fiquem totalmente imersas (as barras devem ser colocadas verticalmente), sem contato entre si e com as paredes do recipiente, e sem estarem apoiadas sobre o pino. Colocar as barras de argamassa no banho-termorregulador com a água deionizada em temperatura ambiente. O aquecimento tem que ser iniciado após a colocação de todas as barras no recipiente e chegar a $80 ^\circ\text{C}$ em $(6 \pm 2) \text{h}$, manter-se durante 24h contando a partir do início do aquecimento.

A realização da leitura L0 deve ser feita na transição das barras do aquecimento da água deionizada para a solução de hidróxido de sódio. Para realizar esta leitura retirar uma barra de cada vez do recipiente, colocar a barra no comparador sempre na mesma posição e girá-la a 360° somente em um sentido; e anotar a menor leitura, fazer este

processo em um tempo estimado de 15 ± 5 s contando a partir da remoção da barra do recipiente.

Logo após a leitura L0 mudar as barras do recipiente com água deionizada para o recipiente com a solução de hidróxido de sódio já aquecido à 80 ± 2 °C da mesma forma que este recipiente deve estar com solução suficiente para que as barras fiquem totalmente imersas (as barras devem ser colocadas verticalmente), sem contato entre si e com as paredes do recipiente, e sem estarem apoiadas sobre o pino.

Em seguida deve-se realizar as leituras nas idades de 16 e 30 dias com pelo menos três leituras intermediárias entre cada intervalo das leituras, todas aproximadamente no mesmo horário.

2.3.2. ENSAIO PROLONGADO (365 DIAS): NBR 15577-6:2018

Esta Parte da NBR 15577 especifica um método para avaliar, por meio da variação de comprimento de prismas de concreto, a suscetibilidade de um agregado participar da reação expansiva álcali-sílica (RAS) na presença dos Ions hidróxido de sódio, por um período de 365 dias. Este método de ensaio visa a potencialidade reativa de agraídos graúdos ou miúdos, separadamente, a partir de ensaios executados sob condições de cura laboratorial.

Conforme disposto na NBR 15577-6 (ABNT, 2018), serão utilizados os seguintes aparelhos para o referido ensaio:

- Balanças;
- Peneiras;
- Paquímetro;
- Espátula;
- Comparador de comprimento;
- Barra-padrão para verificação do comparador de comprimento;
- Recipiente;
- Câmara com temperatura a (38 ± 2) °C;
- Moldes.

A seguir, estão relacionados os materiais necessários para o referido ensaio:

- Hidróxido de sódio (NaOH);
- Água;
- Cimento padrão;
- Materiais inibidores;
- Aditivos;
- Agregados (grãos e miúdos).

Antes do ensaio, deve-se coletar uma amostra do Para início é necessário a escolha do agregado que será empregado na construção. Na sala de moldagem, os materiais secos, a água de amassamento e a câmara úmida devem ter temperatura de 23 ± 2 °C. Ter umidade relativa de 50% na sala de moldagem e maior ou igual 95% da câmara úmida. A câmara de temperatura tem que permanecer nos 38 ± 2 °C durante todo o procedimento de ensaio.

O princípio da mistura ocorre com a junção do agregado grão com uma quantidade parcial da água de amassamento, após iniciado este processo é acrescentado o agregado miúdo, seguido do material cimentício e completando com a outra parte da água de amassamento. A mistura inicial deve ser no tempo de 3 minutos, após uma pausa de mais 3 minutos onde a mistura tem que ser coberta para evitar a evaporação durante este tempo, em seguida misturar por mais 2 minutos.

Para cada mistura é necessário moldar no mínimo três prismas de concreto. Em cada molde a mistura deve ser disposta em duas camadas, tal que a primeira camada após adensada tenha cobertura total dos pinos. Os moldes do concreto devem ser adensados na mesa vibratória, atendendo os critérios de adensamento.

De acordo com a NBR 9479 (ABNT, 2006) a cura inicial dos prismas deve ser na câmara úmida garantindo umidade, sempre preservando de respingos utilizando películas de polietileno ou similares. Após o período da cura, deve-se desformar os moldes e caracterizar de modo que sempre se faça a leitura no mesmo posicionamento. O armazenamento dos prismas será no recipiente com água em uma altura de 20 ± 5 mm na posição vertical, todos os prismas da mesma mistura têm que ser feitos na mesma

data e horário e colocados no mesmo recipiente para ser feita a leitura no mesmo instante. Após o armazenamento, fechar devidamente os recipientes e colocá-los no ambiente de temperatura controlada aos 38 ± 2 °C onde terão que permanecer no decorrer de todo o ensaio, sendo retirados apenas para a realização das leituras.

Precedentemente fazer a leitura da barra padrão, ocorrendo alguma alteração nesta leitura, as seguintes leituras dos prismas devem tomar como base a medida da barra-padrão. Os prismas têm que ser colocados no comparador individualmente na mesma posição girar calmamente a 360° na mesma direção.

A leitura do ensaio deve ser feita inicialmente as 24 ± 1 h e anotar os valores lidos. Prosseguir com as leituras nas idades de 7 dias, 28 dias, 56 dias, 3 meses e a final com 12 meses. Deve-se anteceder a cada leitura a retirada dos recipientes com os prismas do ambiente com temperatura de 38 ± 2 °C para a câmara úmida a 23 ± 2 °C por um período de 18 ± 2 h. Com os devidos dados é possível realizar os cálculos para emissão dos relatórios.

2.3.3. ENSAIO ACELERADO (140 DIAS): NBR 15577-7:2018

Esta Parte da NBR 15577 estabelece um método de ensaio para avaliar, por meio de variação de comprimento de prismas de concreto, a suscetibilidade de um agregado participar da reação expansiva álcali-sílica (RAS) na presença dos íons hidroxila associados aos álcalis (sódio e potássio), fazendo-se o uso de um cimento padrão, com adição suplementar de hidróxido de sódio, por um período de 20 semanas.

Este método de ensaio visa avaliar a potencialidade reativa de agregados graúdos ou miúdos, separadamente, a partir de ensaios executados sob condições de cura a temperatura de 60 °C.

Conforme disposto na NBR 15577-7 (ABNT, 2018), serão utilizados os seguintes aparelhos para o referido ensaio:

- Balanças;
- Peneiras;
- Paquímetro;

- Espátula;
- Comparador de comprimento;
- Barra-padrão para verificação do comparador de comprimento;
- Recipiente;
- Câmara com temperatura a $(60 \pm 2) ^\circ\text{C}$;
- Moldes.

A seguir, estão relacionados os materiais necessários para o referido ensaio:

- Hidróxido de sódio (NaOH);
- Água;
- Cimento padrão;
- Agregados (gráúdos e miúdos).

Antes do ensaio, deve-se coletar uma amostra do Para início é necessário a escolha do agregado que será empregado na construção. Na sala de moldagem, os materiais secos, a água de amassamento e a câmara úmida devem ter temperatura de $23 \pm 2 ^\circ\text{C}$. Ter umidade relativa de 50% na sala de moldagem e maior ou igual 95% da câmara úmida. A câmara de temperatura tem que permanecer nos $60 \pm 2 ^\circ\text{C}$ durante todo o procedimento de ensaio.

O princípio da mistura ocorre com a junção do agregado graúdo com uma quantidade parcial da água de amassamento, após iniciado este processo é acrescentado o agregado miúdo, seguido do material cimentício e completando com a outra parte da água de amassamento. A mistura inicial deve ser no tempo de 3 minutos, após uma pausa de mais 3 minutos onde a mistura tem que ser coberta para evitar a evaporação durante este tempo, em seguida misturar por mais 2 minutos.

Para cada mistura é necessário moldar no mínimo três prismas de concreto, em cada molde deve ser disposta a mistura em duas camadas, tal que a primeira camada após adensada tenha cobertura total dos pinos. Os moldes do concreto devem ser adensados na mesa vibratória, atendendo aos critérios de adensamento.

De acordo com a NBR 9479 (ABNT, 2006) a cura inicial dos prismas deve ser na câmara úmida garantindo umidade, sempre preservando de respingos utilizando películas de polietileno ou similares. Após o período da cura, deve-se desformar os moldes e caracterizar de modo que sempre se faça a leitura no mesmo posicionamento. O armazenamento dos prismas será no recipiente com água em uma altura de $30 \pm 5\text{mm}$ na posição vertical, todos os prismas da mesma mistura têm que ser feitos na mesma data e horário e colocados no mesmo recipiente para ser feita a leitura no mesmo instante. Após o armazenamento fechar devidamente os recipientes e colocá-los no ambiente de temperatura controlada aos $60 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ onde terão que permanecer no decorrer de todo o ensaio, sendo retirados apenas para a realização das leituras.

Precedentemente fazer a leitura da barra padrão, ocorrendo alguma alteração nesta leitura, as seguintes leituras dos prismas devem tomar como base a medida da barra padrão. Os prismas têm que ser colocados no comparador individualmente na mesma posição girar calmamente a 360° na mesma direção.

Após a retirada dos prismas dos moldes, pesar (M_0) e fazer a leitura inicial do comprimento (C_0), posteriormente manter os prismas em água a $23 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ no decorrer de $30 \pm 5\text{ min}$, a seguir retirar os prismas da água e com ajuda de um pano úmido remover o excesso de água. Em seguida pesar (M_0') e fazer a leitura do comprimento (C_0') outra vez nos prismas como uma verificação do ensaio o M_0' tem que ser um pouco maior a M_0 e C_0' tem que ser similar ao C_0 . Toda medição dos prismas não pode passar de 2 minutos para não haver a secagem excessiva.

As leituras devem ser feitas nas idades de 5, 10, 15 e 20 semanas a partir da moldagem dos prismas de concreto. Antes de finalizar as primeiras cinco semanas de ensaio não se pode retirar os prismas do ambiente de temperatura controlada de $60 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e não se pode realizar medições intermediárias.

Deve-se anteceder a cada leitura a retirada dos recipientes com os prismas do ambiente com temperatura controlada de $60 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ para a câmara úmida a $23 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por um período de $24 \pm 1\text{h}$. Com os devidos dados é possível realizar os cálculos para emissão dos relatórios.

2.3.4. ANÁLISE PETROGRÁFICA DO AGREGADO: NBR 15577-3:2018

Esta Parte da NBR 15577 estabelece um método para execução de análise petrográfica de amostras representativas de rochas para uso como agregados em concreto, com ênfase nos fatores condicionantes para a ocorrência da reação álcali-agregado (RAA) e mais especificamente da reação álcali-sílica (RAS).

Assim sendo, estabelece também os procedimentos de análise petrográfica por microscopia ótica. Entretanto, pode requerer técnicas complementares, como coloração seletiva de minerais, análise por difração de raios X (DRX), análise termodiferencial (ATD), espectroscopia de infravermelho, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e análise de raio X por energia dispersiva (EDS), entre outras.

A validade da análise petrográfica depende em larga escala da representatividade das mostras examinadas, da abrangência e exatidão da informação fornecida ao petrógrafo com relação à fonte e ao uso pretendido do material. Depende principalmente da experiência e habilidade do petrógrafo em correlacionar esses dados com as informações da análise. Uma análise diferente de um ensaio por seu caráter subjetivo e interpretativo.

Esta Parte da NBR 15577 não descreve as técnicas de análise petrográfica. A análise deve ser realizada por pessoas qualificadas, com formação e experiência para aplicar as técnicas de reconhecimento das propriedades características de rochas e minerais, bem como para descrever e classificar os constituintes de uma amostra de agregado.

Sobre a classificação do agregado quanto à RAA, com base na análise petrográfica da rocha, deve-se classificar o agregado em potencialmente inócuo ou potencialmente reativo.

Os valores máximos aceitáveis de uma ou mais fases reativas geralmente adotados para classificar um agregado como potencialmente inócuo são: 5% de quartzo microgranular ou deformado, 3% de calcedônia, 1% de tridimita ou cristobalita, 3% de vidro vulcânico e 0,55 de opala. Acima desses valores os agregados são considerados

potencialmente reativos, mas com base em uma experiência e nas demais feições presentes, o petrógrafo pode admitir classificação de quartzo microgranular.

Devem ser mencionadas e consideradas quanto à reatividade da rocha as texturas indicativas de deformação, por exemplo: sombra de pressão, quartzo deformado, minerais triturados, textura “mortar”, geminação deformada, mica *fish*, pertita em chama, interlobanda (grão com contatos suturados) e outros. A extinção ondulante do quartzo não pode ser utilizada como parâmetro para classificação da reatividade da rocha.

Deve-se considerar também na avaliação da reatividade da rocha a contribuição de minerais como cloritas, feldspato, mesopertítico e outros. A Figura 11 representa um agregado contendo calcedônia reativa.



Figura 11- Detalhe de lâmina petrográfica, mostrando agregado contendo calcedônia reativa (sílica criptocristalina) (SBRIGHI NETO; QUITETE; BATTAGIN, 2018).

Entende-se que o referido ensaio é de extrema importância para complemento da pesquisa, visto que se trata de uma análise prévia ao ensaio de reação álcali-agregado, porém devido o cenário da pandemia do Covid-19 não foi possível a realização deste ensaio, uma vez que o laboratório não dispunha de datas e tempo hábil para executar o mesmo, tornando-o assim, objeto de pesquisa futura para complemento deste estudo experimental.

Mediante o exposto, esta pesquisa manteve-se direcionada para o ensaio de determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado, conforme é apresentado a seguir no programa experimental.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Nesta linha de pesquisa, adotou-se como critério de ensaio a aplicação da NBR 15577-4 (ABNT, 2018) para determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Para definição da escolha dos agregados devem-se considerar as orientações prescritas na NBR 15577-2 (ABNT, 2018), na seção 5 – Procedimento de amostragem.

A estufa ventilada ou banho termorregulador (local de armazenamento das barras de argamassa) deve ser mantido em temperatura de $(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

A aparelhagem utilizada para execução do ensaio acelerado refere-se à:

Balanças → As balanças devem apresentar resolução mínima de 0,1g e capacidade de carga de 1.000g.

Peneiras → As peneiras empregadas no ensaio devem ter as seguintes aberturas nominais de malha: 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 850 μm , 600 μm , 300 μm e 150 μm , especificadas na NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010).

Paquímetro → Com escala em milímetros, capaz de medir comprimentos de pelo menos 300mm, com resolução mínima de 0,1mm.

Misturador mecânico → O misturador mecânico consta de uma cuba de aço inoxidável com capacidade de aproximadamente 5L e de uma pá de metal que gira em torno de si mesma e, em movimento planetário, em torno do eixo da cuba, movimentos estes em sentidos opostos. O misturador mecânico deve funcionar com duas velocidades indicadas na Tabela 2, reproduzida da NBR 15577-4 (ABNT, 2018).

Tabela 2 - Velocidade da pá do misturador (ABNT, 2018).

Velocidade	Rotação em torno do eixo (rpm)	Movimento planetário (rpm)
Baixa	140 ± 5	62 ± 5
Alta	285 ± 10	125 ± 10

NOTA 1: As seções indicadas na Figura 12 podem ser circulares.

NOTA 2: A folga entre a pá e a cuba se refere à situação em que a pá, na cuba vazia, é levada o mais próximo possível da parede da cuba. Para pás novas a folga deve ser de $(3,0 \pm 0,5) \text{ mm}$, podendo chegar

a 4,0 mm, com o desgaste natural de uso. Como a medida direta é difícil, podem ser utilizadas os calibradores “passa” ou “não passa”.

Soquete → Deve ser feito de maneira não absorvente, resistente à abrasão e não reativo com os componentes da argamassa, como uma borracha de dureza média ou madeira tratada. O soquete deve ter face de apiloamento plana e perpendicular ao eixo e deve apresentar seção transversal de 13mm x 25mm e comprimento de 150mm.

Espátula → Deve ser de lâmina fina de aço e ter comprimento entre 100mm a 150mm, com ângulo retos.

Recipientes → Devem ser confeccionados de material que resista à exposição prolongada a 80 °C e à solução de NaOH 1N. Não podem ser de metal corrosível ou vidro. Devem possibilitar que as barras de argamassa possam ser totalmente imersas em água ou em solução de NaOH 1H, assegurando que o líquido empregado tenha acesso a toda a sua superfície, de forma que as barras de argamassa não toquem as paredes do recipiente e não tenham contato entre si. Quando as barras de argamassa forem posicionadas verticalmente na solução, estas não podem ficar apoiadas nos pinos de medidas.

Moldes → Os moldes devem ter um ou vários compartimentos e ser constituídos de acordo com a Figura 12. As barras de argamassa obtidas devem ser prismáticas, de seção quadrada, com $(25,0 \pm 0,7)$ mm de lado e 285mm de comprimento. Seu comprimento efetivo de medida deve ser de $(250,0 \pm 2,5)$ mm.

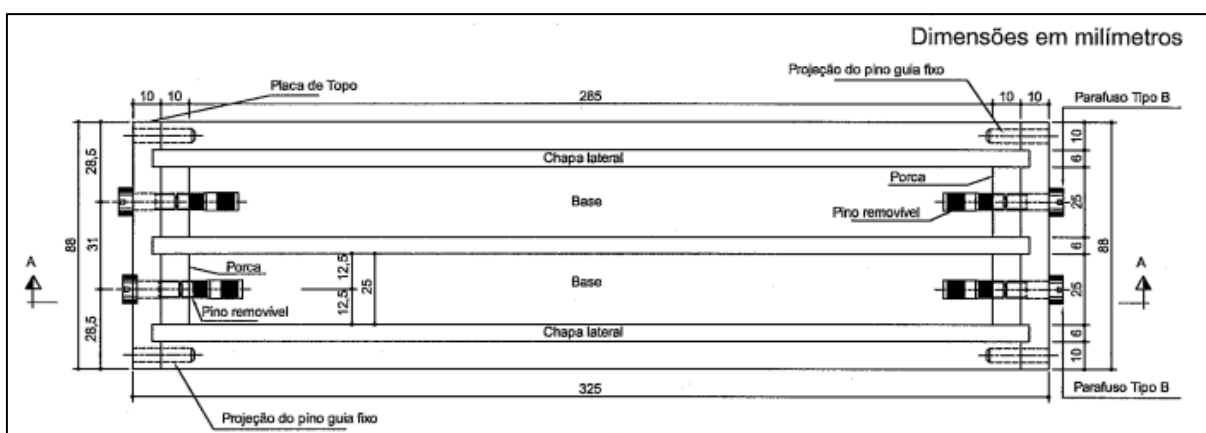


Figura 12 - Planta e corte longitudinal dos moldes (ABNT, 2018).

O comprimento efetivo de medida é a distância entre as extremidades internas dos pinos de medida, que deve ser de aço inoxidável. As diferentes partes dos moldes devem ser ajustadas perfeitamente e, quando montadas, devem ser fixadas com firmeza, suas superfícies devem ser lisas e sem defeitos. Os moldes devem ser de aço ou outro material resistente, química e fisicamente, ao ataque de pastas e argamassas de cimento. As partes dos moldes devem ser suficientemente rígidas para que não se deformem. A altura dos moldes e a distância entre suas laterais opostas devem ser de $(25,0 \pm 0,7)$ mm.

As chapas extremas dos moldes devem ser capazes de fixar adequadamente os pinos de medida durante a pega. Para evitar a sua restrição durante a retração inicial da barra de argamassa, deve ser prevista a possibilidade de soltar parcialmente ou completamente o dispositivo de fixação dos pinos logo após a moldagem. Os pinos devem ser colocados de tal forma que seus eixos principais coincidam com o eixo principal da barra de argamassa e de maneira que fiquem introduzidos $(17,5 \pm 0,5)$ mm na barra de argamassa e que a distância entre suas extremidades internas seja de $(250,0 \pm 2,5)$ mm.

Antes da moldagem, as partes internas das juntas dos moldes e das superfícies de contato dos moldes com as placas de base devem ser moldadas com massa de modelar, cera ou similar. As superfícies internas do molde devem receber uma camada fina de óleo mineral. Em seguida, os pinos devem ser colocados em suas posições, tomando-se cuidado para que permaneçam limpos e livres de óleo e graxa.

As variações de comprimento das barras de argamassa devem ser determinadas por meio de um relógio comparador ou micrômetro comparador capaz de medir, no mínimo, variações totais de 5,0mm. O comparador deve ser construído de modo que sua menor divisão permita uma leitura de 0,001mm. Para diferenças de leitura de até 0,020mm, a exatidão deve ser de 0,002mm e, para diferenças de leitura de até 0,200mm, a exatidão deve ser de 0,004mm.

A barra padrão (liga de aço) para o controle do aparelho deve ter comprimento total de $(295,0 \pm 1,5)$ mm e seu coeficiente de dilatação linear não pode ser maior do que $2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. A barra-padrão deve ser temperada e suas extremidades polidas de tal

forma que se adaptem às extremidades do comparador. A parte central da barra-padrão deve ser recoberta por um tubo de material isolante, de pelo menos 3mm de espessura e 100mm de comprimento, para reduzir o efeito da variação de temperatura durante a sua manipulação. A barra-padrão deve ter uma marca em uma das extremidades para que seja colocada no comparador sempre na mesma posição.

Após o agregado ter sido classificado, lavar cada fração com água corrente para remover o pó aderido e partículas finas do agregado. Secar as frações retidas nas várias peneiras e armazenar cada fração individualmente em um recipiente limpo e fechado, a menos daquelas que forem utilizadas imediatamente. Conforme especificado na Tabela 3, reproduzida da NBR 15577-4 (ABNT, 2018).

Tabela 3 - Granulometria requerida do material para ensaio (ABNT, 2018).

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)		Quantidade de material em massa	
Passante	Retido	%	g
4,75 mm	2,36 mm	10	99,0
2,36 mm	1,18 mm	25	247,5
1,18 mm	600 µm	25	247,5
600 µm	300 µm	25	247,5
300 µm	150 µm	15	148,5

Para 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 estabelecida na Tabela 3, devem ser:

→ 440g 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 devem ser:

→ 440g de cimento;

→ massa m_a (em gramas) de agregados.

A variação de comprimento em uma determinada idade é a média dos valores obtidas nas três barras de argamassa correspondentes, calculada com aproximação de 0,01 %.

Para valores de expansão de até 0,10%, aos 30 dias, o desvio relativo máximo (DRM) deve ser de até 40% da média das três barras do ensaio. Quando o desvio relativo máximo for superior a 40%, calcular uma nova média desconsiderando o valor discrepante.

Para valores de expansão acima de 0,10%, aos 30 dias, o desvio relativo máximo deve ser de até 20% da média das três barras do ensaio. Quando o desvio relativo máximo for superior a 20%, calcular uma nova média desconsiderando o valor discrepante.

A expansão de apenas uma barra não pode representar o resultado de uma determinada idade de ensaio.

NOTA: O desvio relativo máximo (DRM) é calculado dividindo-se o valor absoluto da diferença entre a expansão média e a expansão individual que mais se afaste desta média para mais ou para menos, pela expansão média e multiplicando este quociente por 100. O DRM é expresso em porcentagem com aproximação de 0,1%.

No relatório do ensaio devem ser informados os seguintes dados:

- a) identificação do agregado;
- b) tipo do cimento-padrão;
- c) expansão em autoclave, superfície específica Blaine e teor de álcalis totais do cimento-padrão, como percentual de óxido de potássio (K_2O), óxido de sódio (Na_2O) e do óxido de sódio equivalente calculado ($Na_2O_{eq} = \% NO + 0,658 \times \% K_2O$);
- d) tabela e gráfico contendo a evolução da expansão média percentual das barras de argamassa obtida nas idades avaliadas, incluindo sempre a idade de 16 dias e 30 dias;
- e) tipo de britador utilizado para britagem do agregado, bem como qualquer informação relevante relacionada à preparação dos agregados, incluindo sua classificação quando esta diferir da estabelecida em 6.1;

f) qualquer característica significativa revelada pelo exame das barras de argamassa durante e após o ensaio tais como fissuras, formação de gel ou bordas de reação em torno dos agregados.

Por fim, não se dispõe de dados estatísticas históricos que permitam calcular os valores de repetitividade e reprodutibilidade deste método de ensaio.

Para efetuação deste trabalho, foram coletadas oito amostras de diferentes jazidas. Adiante, a Figura 13 representa o mapa do estado de São Paulo com as regiões onde foram realizadas as coletas dos materiais (agregados graúdo e miúdo) para realização do ensaio de potencialidade reativa.



Figura 13 – Mapa do estado de São Paulo representando as regiões de coleta dos materiais (agregados), classificados como potencialmente inócuo e/ou potencialmente reativo (elaboração própria, 2020).

Por conseguinte, estruturou-se um plano de ensaio dividido em três etapas, determinando previamente datas viáveis para o início da execução dos ensaios, prevendo feriados e/ou finais de semana, de modo que não interferissem na continuidade das leituras das barras de argamassa. A Tabela 4 classifica as amostras coletadas.

Tabela 4 - Classificação das amostras coletadas (reproduzida do Relatório IPT).

Regiões do Estado de São Paulo	Tipologia Mineralógica	Brita	Identificação IPT	
			Nº Amostra IPT/LMCC	Data do recebimento
Santana de Parnaíba	Calcário	0	3383/19	27/09/2019
Sorocaba	Calcário	1	3385/19	
Salto	Calcário	1	3386/19	
Mongaguá	Granito	1	3568/19	02/10/2019
Cajamar	Calcário	1	3569/19	
Mairiporã	Granito	1	3570/19	
São Vicente	Gnaiss	1	3571/19	
Campinas	Basalto	1	3344/20	13/02/2020

3.1. ENSAIO DE POTENCIALIDADE REATIVA

Os ensaios de potencialidade reativa dos agregados, adotando o método acelerado, conforme preconiza a NBR 15577-4 (ABNT, 2018), foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT, pelo laboratorista Sr. Roberto Ferreira de Lima e supervisão do Eng.º Rafael Francisco Cardoso. Adiante, a Figura 14 ilustra o procedimento de identificação das amostras coletadas, todas especificadas com um código individual do IPT.



Figura 14 - Procedimentos de identificação e compartimentação dos agregados (acervo próprio, 2019).

Processar os agregados com um mínimo de britagem, quando necessária, de forma a obter um produto classificado conforme a Tabela 3. A Figura 15 ilustra a moagem dos materiais.



Figura 15 - Moagem dos materiais (acervo próprio, 2019).

No caso de agregados contendo quantidades insuficientes de uma ou mais frações especificadas, e se nenhum material maior estiver disponível para ser britado, a primeira fração na qual existe material suficiente disponível deve conter a porcentagem acumulada do material até aquela fração, como determinado a partir da classificação especificada na Tabela 3. Coloca-se o material na sequência de peneiras e primeiro se peneira manualmente como demonstra a Figura 16.



Figura 16 - Processo de peneiramento manual do material (acervo próprio, 2019).

Após a separação do material manualmente se dispõe as peneiras no peneiramento elétrico por duas vezes durante 5min cada, para coleta final do material. Como exemplifica a Figura 17.

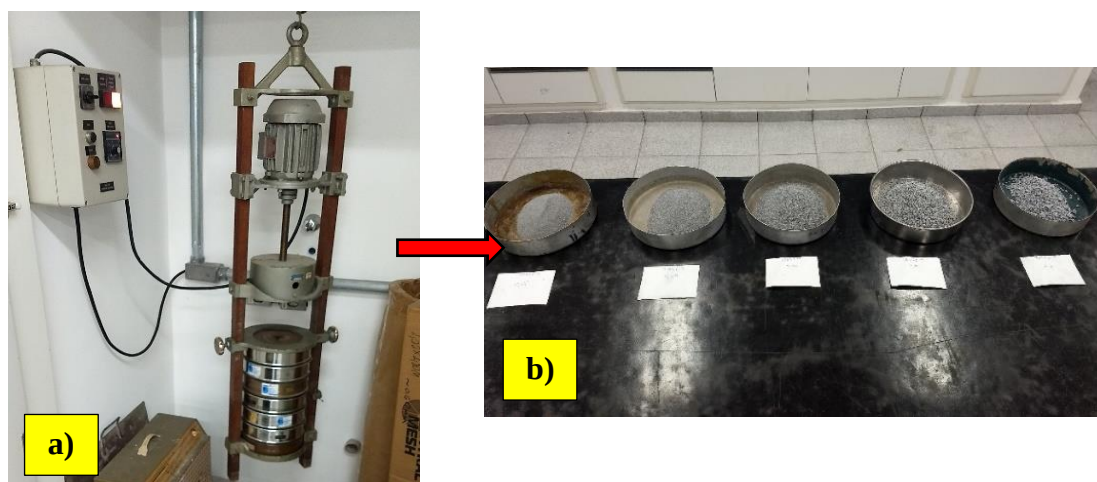


Figura 17 – a) Peneirador elétrico vertical b) Materiais devidamente separados após peneiramento (acervo próprio, 2019).

Após o agregado ter sido classificado, lavar cada fração com água corrente para remover o pó aderido e partículas finas do agregado, da maneira que mostra a Figura 18.



Figura 18 - Lavagem em água corrente e cristalina até remoção de todas as partículas pulverulentas (acervo próprio, 2019).

Antes dos recipientes ser levado a estufa, o excedente de água do agregado precisa ser removido, foi utilizado um sugador manual, da maneira que mostra a Figura 19.



Figura 19 - Remoção do excesso de água com sugador manual (acervo próprio, 2019).

Assim então levar a uma estufa a 100 °C até secar as frações retidas nas várias peneiras e atingir uma massa constante. Armazenar cada fração individualmente em um recipiente limpo e fechado, a menos daquelas que forem utilizadas imediatamente. A Figura 20 exemplifica.



Figura 20 - Secagem das frações das amostras em estufa a 100 °C por mais de 24h até obter uma constância de massa referente a 0,5% (acervo próprio, 2019).

O cimento Portland a ser utilizado para a avaliação do grau de reatividade de um determinado agregado é um cimento padrão e deve satisfazer aos requisitos da NBR 16697 (ABNT, 2018), além de possuir finura de (4900 ± 200) cm²/g, determinada de acordo com a NBR 16372 (ABNT, 2015), equivalente ao alcalino total expresso em NaOeq (0,658 K₂O % + Na₂O %) de $(0,90 \pm 0,10)$ %, determinado de acordo com a NBR NM 17 (ABNT, 2012) e expansão em autoclave inferior a 0,20 %, determinada pelo método descrito na ASTM C 151 (ASTM, 2018).

Recomenda-se que o cimento padrão seja passado na peneira de malha 850µm para remover eventuais grumos.

Para dosagem da argamassa, deve-se proporcionar o material seco para o ensaio de argamassa utilizando uma parte de cimento para 2,25 partes em massa de agregado classificado. Utilizar relação água/cimento (a/c) igual a 0,47 em massa (ABNT, 2018). A Figura 21 ilustra o procedimento de pesagem do cimento padrão e da água deionizada, utilizados no traço padrão.



Figura 21 - Pesagem do cimento-padrão e água deionizada em balança de precisão (acervo próprio, 2019).

Como dito acima a relação água/cimento é de 0,47, à vista disso são 440g de cimento padrão e 206,8g de água deionizada. A separação do agregado é de 99g da peneira de 2,36mm; 247,5g da peneira de 1,18mm; 247,5 da peneira de 600 μ m; 247,5 da peneira de 300 μ m e 148,5 da peneira de 150 μ m, ao total são 990g de agregado. A Figura 22 mostra a pesagem dos materiais na balança de precisão, após é realizado a mistura da argamassa.



Figura 22 - Pesagem dos agregados em balança de precisão (acervo próprio, 2019).

A mistura deve ser realizada de forma mecânica, colocando inicialmente na cuba toda a quantidade de água e adicionando o cimento. Deve ser registrada a hora em que o cimento é colocado em contato com a água de mistura. A mistura destes materiais deve ser feita com o misturador na velocidade baixa, durante 30s.

Após esse tempo e sem paralisar a operação de mistura, iniciar a colocação do agregado (as cinco frações previamente homogeneizadas), com o cuidado de que todo o agregado seja colocado gradualmente durante o intervalo de tempo de 30s. Imediatamente após o término da colocação do agregado na cuba, mudar para a velocidade alta, misturando os materiais nesta velocidade durante 30s.

Após esse tempo, desligar o misturador durante 1 min e 30s. Nos primeiros 15s retirar, com o auxílio de uma espátula, a argamassa que ficou aderida às paredes da cuba, à pá e que não foi suficientemente misturada, colocando-a no interior da cuba. Durante o tempo restante (1min e 15s), a argamassa deve ficar em repouso na cuba, coberta com pano limpo e úmido. Imediatamente após este intervalo de tempo, ligar o misturador na velocidade alta, por mais 1min. A Figura 23 elucida o procedimento de mistura do traço padrão (argamassa).

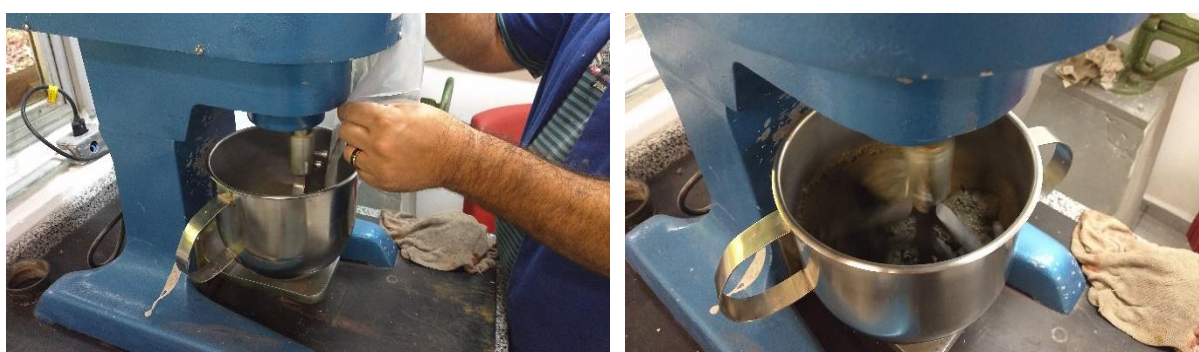


Figura 23 - Procedimento de mistura da argamassa (acervo próprio, 2019).

Os moldes das barras de argamassa devem ser preparados de acordo com o item 3.8 da norma vigente. Moldar pelo menos três barras de argamassa para ensaio de cada combinação de cimento-agregado.

Moldar as barras de argamassa dentro do tempo total decorrido de até 2min e 15s após a conclusão da mistura original da argamassa. A colocação da argamassa nos moldes deve ser feita com auxílio de uma espátula, em duas camadas com alturas aproximadamente iguais. Cada camada deve ser adensada com 20 golpes do soquete. Trabalhar a argamassa nos cantos, ao redor dos pinos, e ao longo das superfícies do molde com o soquete até obter uma barra de argamassa homogênea. Depois que a última camada tiver sido adensada, realizar o rasamento e alisamento da superfície da barra de argamassa, com uma espátula. A Figura 24 demonstra o procedimento de moldagem das barras de argamassa.



Figura 24 - Moldagem das barras de argamassa sendo realizada em duas camadas (acervo próprio, 2019).

A cura inicial deve ocorrer logo após a moldagem, as barras de argamassa devem ser submetidas a um período de cura inicial em câmara úmida a 23 ± 2 °C durante 24 ± 1 h com a face superior protegida de respingos, como representa a Figura 25.



Figura 25 – Procedimento de rasamento/nivelamento da superfície das barras de argamassa e cura inicial em câmara úmida (acervo próprio, 2019).

Após a cura inicial em câmara úmida, remover as barras de argamassa dos moldes, identificá-las e fazer uma marcação orientativa de modo que as leituras no comparador de comprimento sejam realizadas sempre na mesma posição. A Figura 26 ilustra o procedimento de desforma das barras de argamassa.



Figura 26 – Procedimento de desforma e identificação do IPT nas barras de argamassa (acervo próprio, 2019).

As barras de argamassa previamente identificadas devem ser colocadas em recipiente de armazenamento (ver 3.7 da norma vigente) com água suficiente para imergi-las totalmente, cuidando para que não toquem as paredes do recipiente ou entre si, posicionadas verticalmente na água, e não fiquem apoiadas pelo pino. Selar e colocar o recipiente em estufa ventilada ou banho-termorregulador em temperatura ambiente. O aquecimento do recipiente deve ser realizado em (6 ± 2) h até 80 °C e permanecer durante 24h, contadas a partir do início do aquecimento.

Deve-se ler a barra padrão antes de cada conjunto de barras de argamassa dentro de um período de 12h. Caso ocorra alteração na leitura da barra-padrão, os valores das leituras subsequentes das barras de argamassa devem ser corrigidos pela medida da barra-padrão. Fazer e registrar a leitura inicial e as subsequentes com aproximação de 0,001 mm.

NOTA 1: Para minimizar as alterações nas leituras da barra-padrão, durante todo o período de ensaio, recomenda-se que as leituras sejam realizadas sempre no mesmo ambiente e que o relógio comparador e a barra-padrão estejam climatizados nesse ambiente.

Remover os recipientes, um de cada vez, da estufa ventilada ou do banho termorregulador. Remover outros recipientes apenas depois que as barras do primeiro recipiente tiverem sido medidas e recolocadas, sendo o tempo máximo decorrido entre a remoção e recolocação do recipiente na estufa ventilada ou no banho-termorregulador de no máximo 10min.

Para a leitura inicial das barras de argamassa, removê-las da água uma de cada vez. Cada barra de argamassa deve ser colocada no comparador sempre na mesma posição e, em seguida, girada lentamente 360° no mesmo sentido, anotando-se a menor leitura.

Esse processo, para cada barra, deve ser realizado no período de (15 ± 5) s, contado a partir da remoção da barra de argamassa da água. A Figura 27 demonstra o procedimento de medição da leitura inicial das barras de argamassa.



Figura 27 - Leitura inicial das barras de argamassa após 24h da moldagem (acervo próprio, 2019).

Em seguida, colocar todas as barras de argamassa em um recipiente com solução de NaOH ($1,0 \pm 0,1$) a $(80 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, de forma que fiquem totalmente imersas. Selar o recipiente e retorná-lo à estufa ventilada ou banho-termorregulador.

Após a leitura inicial, efetuar leituras nas idades de 16 dias e 30 dias, contados a partir da moldagem e pelo menos três leituras intermediárias em cada período, aproximadamente na mesma hora.

NOTA 2: Recomenda-se examinar as barras de argamassa durante e após a realização dos ensaios, de forma a identificar qualquer anomalia originada em sua superfície.

A variação de comprimento de cada barra de argamassa em uma determinada idade representa a diferença entre seu comprimento na idade considerada e seu comprimento inicial (leitura inicial), expressa em porcentagem do comprimento efetivo de medida, com aproximação de 0,001%.

A solução de hidróxido de sódio, para a preparação deve-se adicionar 40,0g de NaOH p.a. a 900ml de água e, em seguida, diluir com água para obter 1,0 L de solução. Quando for utilizado NaOH de grau técnico, a concentração da solução deve ser verificada por análise química, para garantir uma concentração $(1,0 \pm 0,1)$ N. A solução de hidróxido de sódio (NaOH) pode ser reutilizada desde que atenda à faixa de concentração especificada.

A temperatura da sala de moldagem e dos materiais secos deve ser de $(24 \pm 4)^{\circ}\text{C}$ enquanto que a temperatura da água de amassamento e da câmara úmida deve ser de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. A estufa ventilada ou banho termorregulador nos quais as barras de

argamassa devem ser armazenadas nos recipientes deve ser mantida a uma temperatura de $(80 \pm 2)^\circ\text{C}$.

A umidade relativa da sala de moldagem deve ser maior ou igual a 50 % e da câmara úmida maior ou igual a 95%. A Figura 28 representa o processo do ensaio relativo ao banho termorregulador.

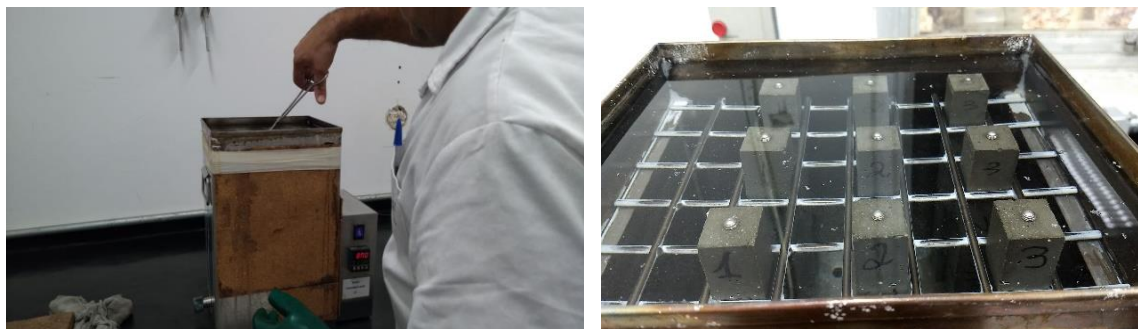


Figura 28 – Foto do banho termorregulador (acervo próprio, 2019).

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através da realização do ensaio adotando o método acelerado, conforme preconiza a NBR 15577-4 (ABNT, 2018), objetiva-se classificar a origem mineralógica dos agregados coletados e verificar a potencialidade reativa de cada material, classificando os agregados potencialmente reativos, bem como, aqueles que apresentaram resultados potencialmente inócuos.

4.1. RESULTADO DA POTENCIALIDADE REATIVA DO AGREGADO DA AMOSTRA 3383/19 – CALCÁRIO

O resultado de potencialidade reativa da amostra 3383/19 está apresentado na Tabela 5, e no gráfico da Figura 29. A amostra é brita 0, da região de Santana de Parnaíba, a tipologia mineralógica corresponde ao calcário. No dia 07 de janeiro de 2020 foi recebido este resultado, reproduzido do Relatório do IPT (Boletim de Resultados – Anexo A).

Tabela 5 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzida de Relatório IPT).

Idade (dias)	Expansão (%)
	3383/19
5	0,03
9	0,13
12	0,21
16	0,29
19	0,34
23	0,40
26	0,43
30	0,48

Nota 1: Conforme *item 5.3 da NBR 15577:1-2018*, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,19% e 0,40%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R1, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,41% e 0,60%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R2.

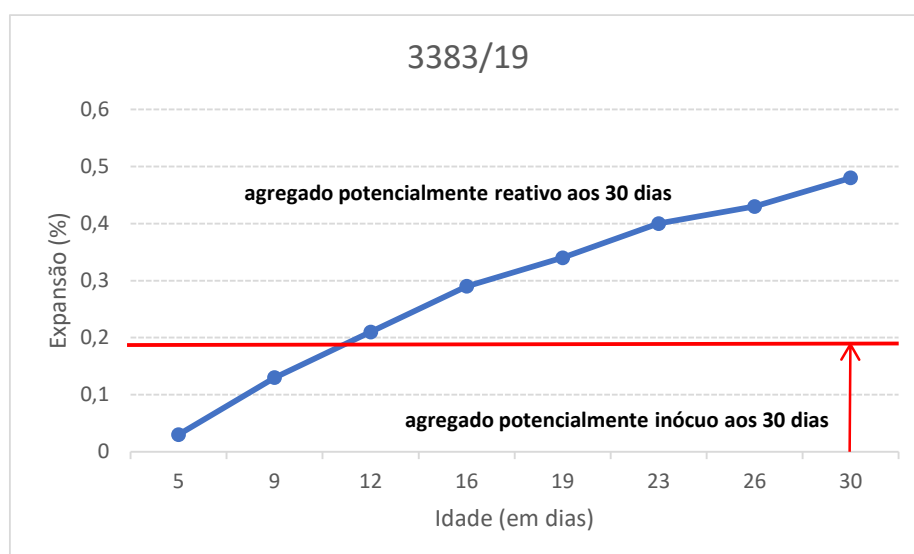


Figura 29 – Expansão da argamassa com a amostra 3383/19 (Reproduzido de Relatório IPT 2019).

A evolução da expansão dos resultados da amostra 3383/19 apresentou aos 30 dias de idade resultado referente a 0,48%, considerando também que, as porcentagens iniciais foram sobremaneira elevadas, o que classificou o agregado como potencialmente reativo grau R2, de acordo com o item 5.3 da NBR 15577:1-2018.

Ainda que, entre os dias 23 e 26 tenha havido um crescimento lento, comparando-se ao inicial, a retomada do pico de crescimento aos 30 dias foi expressiva, conforme evidencia a imagem do gráfico (Figura 29).

4.2. RESULTADO DA POTENCIALIDADE REATIVA DO AGREGADO DA AMOSTRA 3385/19 – CALCÁRIO

O resultado de potencialidade reativa da amostra 3385/19 está apresentado na Tabela 6, e no gráfico da Figura 30. A amostra é brita 1, da região de Sorocaba, a tipologia mineralógica corresponde ao calcário. No dia 07 de janeiro de 2020 foi recebido este resultado, reproduzido no Relatório do IPT (Boletim de Resultados – Anexo A).

Tabela 6 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzido de Relatório IPT).

Idade (dias)	Expansão (%)
	3385/19
5	0,01
9	0,05
12	0,10
16	0,14
19	0,18
23	0,22
26	0,25
30	0,29

Nota 1: Conforme *item 5.3 da NBR 15577:1-2018*, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,19% e 0,40%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R1, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,41% e 0,60%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R2.

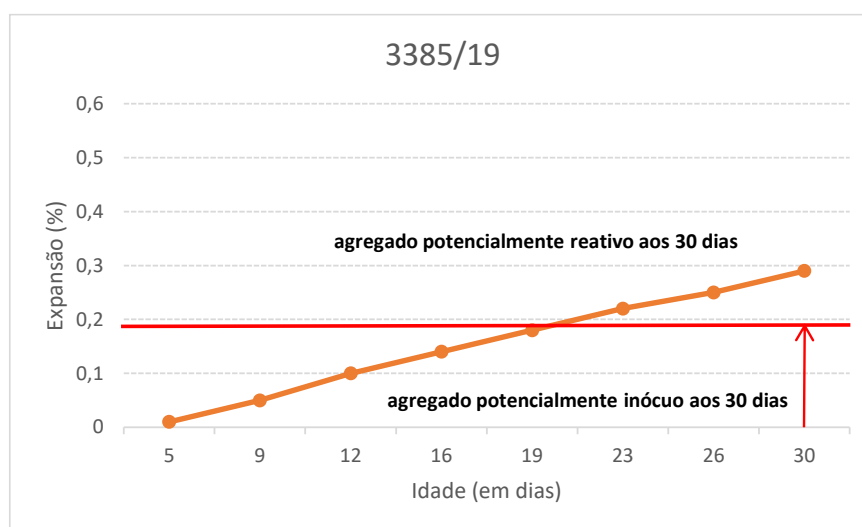


Figura 30 – Expansão da argamassa com a amostra 3385/19 (Reproduzido de Relatório IPT, 2019).

Tratando-se do resultado da amostra 3385/19, este, apresentou aos 30 dias de idade expansão referente à 0,29%. Nesta amostra, observa-se que a evolução das porcentagens não foi expressivas, ainda sim, o agregado classificou-se como potencialmente reativo grau R1, de acordo com o item 5.3 da NBR 15577:1-2018.

4.3. RESULTADO DA POTENCIALIDADE REATIVA DO AGREGADO DA AMOSTRA 3386/19 – CALCÁRIO

O resultado de potencialidade reativa da amostra 3386/19 está apresentado na Tabela 7, e no gráfico da Figura 31. A amostra é brita 1, da região de Salto, a tipologia mineralógica corresponde ao calcário. No dia 07 de janeiro de 2020 foi recebido este resultado, reproduzido no Relatório do IPT (Boletim de Resultados – Anexo A).

Tabela 7 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzido de Relatório IPT).

Idade (dias)	Expansão (%)
	3386/19
5	0,01
9	0,06
12	0,11
16	0,18
19	0,21
23	0,26
26	0,29
30	0,33

Nota 1: Conforme item 5.3 da NBR 15577:1-2018, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,19% e 0,40%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R1, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,41% e 0,60%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R2.

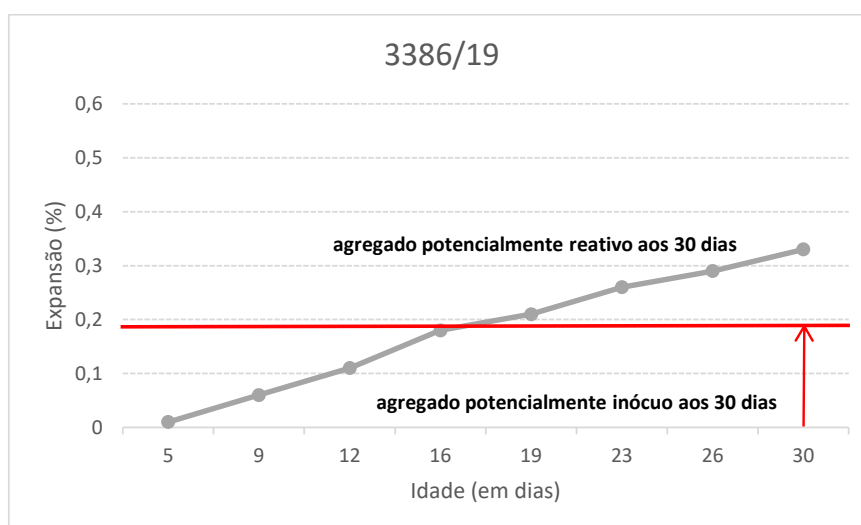


Figura 31 – Expansão da argamassa com a amostra 3386/19 (Reproduzido de Relatório IPT 2019).

O resultado da amostra 3386/19 apontou aos 30 dias de idade expansão referente à 0,33%, obtendo uma média de crescimento entre as principais leituras de 0,18%, sendo uma evolução considerável, o que classificou o agregado como potencialmente reativo grau R1, de acordo com o item 5.3 da NBR 15577:1-2018.

4.4. RESULTADO DA POTENCIALIDADE REATIVA DO AGREGADO DA AMOSTRA 3568/19 – GRANITO

O resultado de potencialidade reativa da amostra 3368/19 está apresentado na Tabela 8, e no gráfico da Figura 32. A amostra é brita 1, da região de Mongaguá, a tipologia mineralógica corresponde ao granito. No dia 12 de fevereiro de 2020 foi recebido este resultado, reproduzido no Relatório do IPT (Boletim de Resultados – Anexo B).

Tabela 8 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzida de Relatório IPT).

Idade (dias)	Expansão (%)
	3568/19
5	0,01
9	0,04
12	0,05
16	0,06
19	0,08
23	0,09
26	0,10
30	0,12

Nota 1: Conforme *item 5.3 da NBR 15577:1-2018*, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,19% e 0,40%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R1, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,41% e 0,60%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R2.

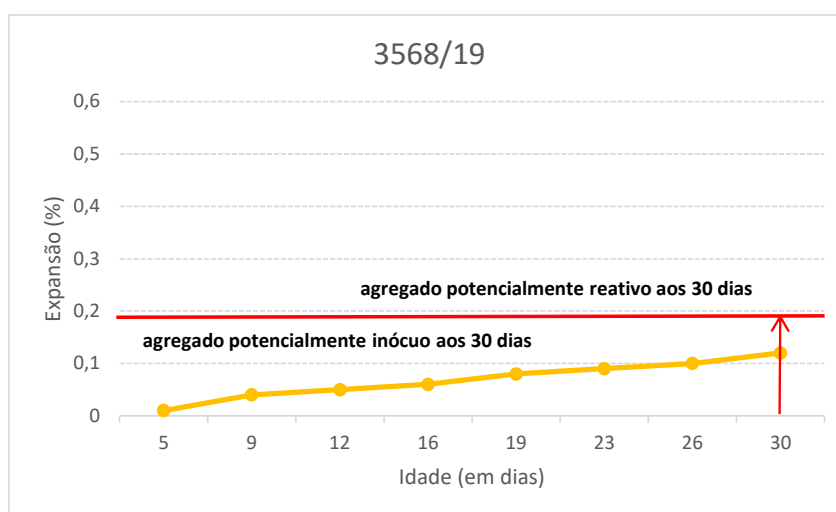


Figura 32 – Expansão da argamassa com a amostra 3568/19 (Reproduzido de Relatório IPT, 2020).

Quanto a amostra 3568/19, esta, apresentou porcentagens abaixo do esperado, tendo em vista que, conforme registros da empresa colaboradora, já havia resultados do mesmo material, realizado períodos anteriores, com resultados de expansão igual a 0,19% aos 30 dias de idade.

Neste estudo experimental, a referida amostra obteve aos 30 dias de idade expansão de 0,12%, classificando o agregado como potencialmente inócuo grau R0, de acordo com o item 5.3 da NBR 15577:1-2018.

4.5. RESULTADO DA POTENCIALIDADE REATIVA DO AGREGADO DA AMOSTRA 3569/19 – CALCÁRIO

O resultado de potencialidade reativa da amostra 3369/19 está apresentado na Tabela 9, e no gráfico da Figura 33. A amostra é brita 1, da região de Cajamar, a tipologia mineralógica corresponde ao calcário. No dia 12 de fevereiro de 2020 foi recebido este resultado, reproduzido no Relatório do IPT (Boletim de Resultados – Anexo B).

Tabela 9 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzida de Relatório IPT).

Idade (dias)	Expansão (%)
	3569/19
5	0,06
9	0,18
12	0,28
16	0,33
19	0,40
23	0,46
26	0,52
30	0,55

Nota 1: Conforme *item 5.3 da NBR 15577:1-2018*, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,19% e 0,40%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R1, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,41% e 0,60%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R2.

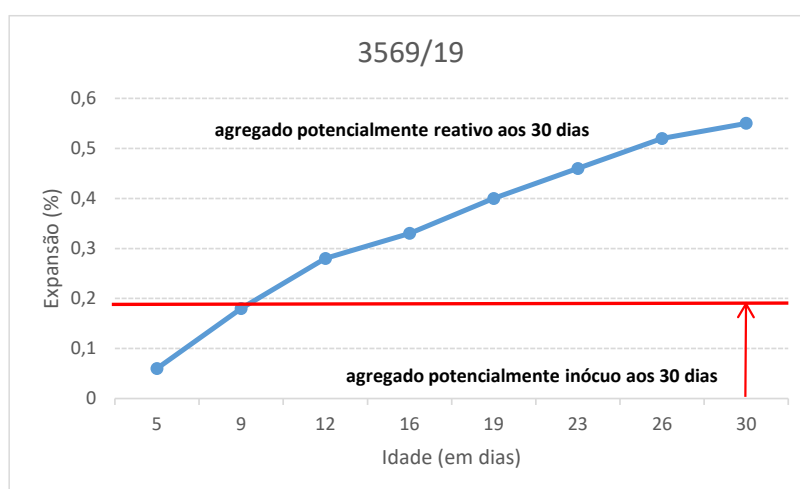


Figura 33 – Expansão da argamassa com a amostra 3569/19 (Reproduzido de Relatório IPT, 2020).

A amostra 3569/19 atingiu porcentagens elevadíssimas entre as idades que correspondem as principais leituras, obtendo expansão referente à 0,55% aos 30 dias de idade, assim dizendo, o agregado classifica-se como potencialmente reativo grau R2, conforme especificado no item 5.3 da NBR 15577:1-2018.

4.6. RESULTADO DA POTENCIALIDADE REATIVA DO AGREGADO DA AMOSTRA 3570/19 – GRANITO

O resultado de potencialidade reativa da amostra 3370/19 está apresentado na Tabela 10, e no gráfico da Figura 34. A amostra é brita 1, da região de Mairiporã, a tipologia mineralógica corresponde ao granito. No dia 12 de fevereiro de 2020 foi recebido este resultado, reproduzido no Relatório do IPT (Boletim de Resultados – Anexo B).

Tabela 10 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzida de Relatório IPT).

Idade (dias)	Expansão (%)
	3570/19
5	0,01
9	0,05
12	0,07
16	0,08
19	0,10
23	0,12
26	0,13
30	0,16

Nota 1: Conforme item 5.3 da NBR 15577:1-2018, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,19% e 0,40%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R1, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,41% e 0,60%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R2.

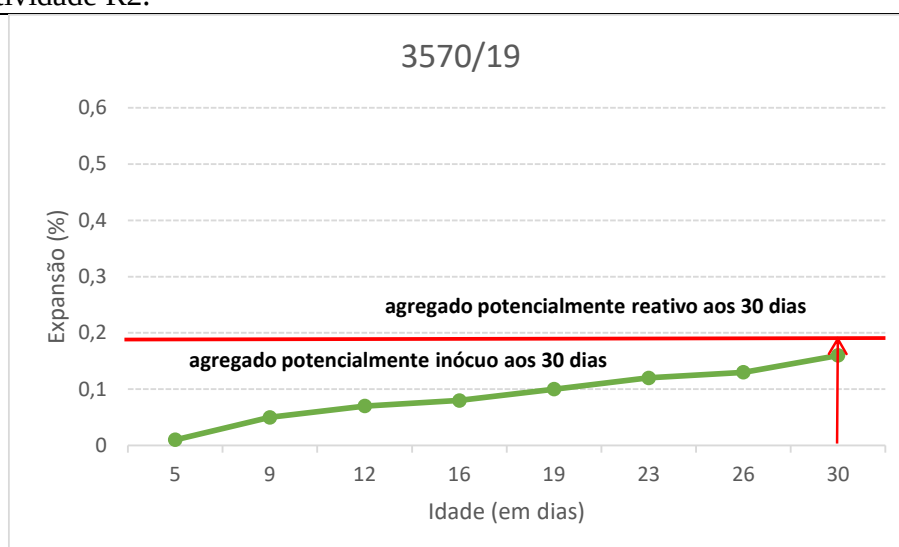


Figura 34 – Expansão da argamassa com a amostra 3570/19 (Reproduzido de Relatório IPT, 2020).

Sobre a evolução dos resultados da amostra 3570/19, este, obteve expansão de 0,16% aos 30 dias de idade, classificando o agregado como material potencialmente inócuo grau R0, de acordo com o item 5.3 da NBR 15577:1-2018.

Ainda que, a evolução da expansão tenha sido abaixo do esperado, devido não ter atingindo a porcentagem $\geq 0,19\%$, isso foi importante para o entendimento da probabilidade de coletar-se (um veio não contaminado e um veio contaminado), da mesma jazida, apresentando em tempos distintos resultados divergentes, pois de acordo com informações da empresa colaboradora, o material desta Jazida já havia apresentado resultados de ensaio de potencialidade reativa do agregado, com barras de argamassa, classificando o agregado como potencialmente reativo R1.

4.7. RESULTADO DA POTENCIALIDADE REATIVA DO AGREGADO DA AMOSTRA 3571/19 – GNAISSE

O resultado de potencialidade reativa da amostra 3371/19 está apresentado na Tabela 11, e no gráfico da Figura 35. A amostra é brita 1, da região de São Vicente, a tipologia mineralógica corresponde ao gnaiss. No dia 12 de fevereiro de 2020 foi recebido este resultado, reproduzido no Relatório do IPT (Boletim de Resultados – Anexo B).

Tabela 11 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzida de Relatório IPT).

Idade (dias)	Expansão (%)
	3571/19
5	0,01
9	0,03
12	0,04
16	0,04
19	0,06
23	0,06
26	0,08
30	0,09

Nota 1: Conforme *item 5.3 da NBR 15577:1-2018*, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,19% e 0,40%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R1, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,41% e 0,60%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R2.

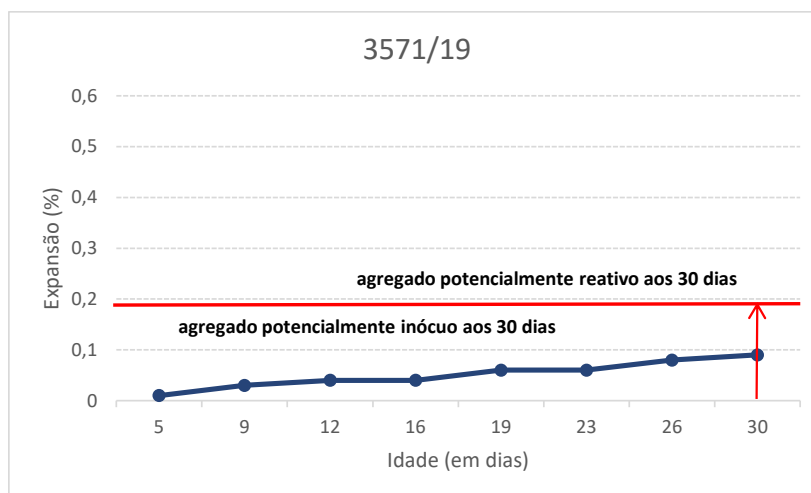


Figura 35 – Expansão da argamassa com a amostra 3571/19 (Reproduzido de Relatório IPT, 2020).

Não obstante da amostra anterior, a amostra 3571/19 apresentou porcentagens bem abaixo do esperado, inclusive, obtendo expansão aos 30 dias de idade referente a 0,09% apenas, classificando o agregado como potencialmente inócuo grau R0, de acordo com o item 5.3 da NBR 15577:1-2018.

4.8. RESULTADO DA POTENCIALIDADE REATIVA DO AGREGADO DA AMOSTRA 3344/20 – BASALTO

O resultado de potencialidade reativa da amostra 3344/20 está apresentado na Tabela 12, e no gráfico da Figura 36. A amostra é brita 1, da região de Campinas, a tipologia mineralógica corresponde ao basalto. No dia 15 de outubro de 2020 foi recebido este resultado, reproduzido no Relatório do IPT (Boletim de Resultados – Anexo C).

Tabela 12 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzida de Relatório IPT).

Idade (dias)	Expansão (%)
	3344/20
5	0,02
9	0,02
12	0,07
16	0,15
19	0,23
23	0,29
26	0,31
30	0,33

Nota 1: Conforme *item 5.3 da NBR 15577:1-2018*, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,19% e 0,40%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R1, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,41% e 0,60%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R2.

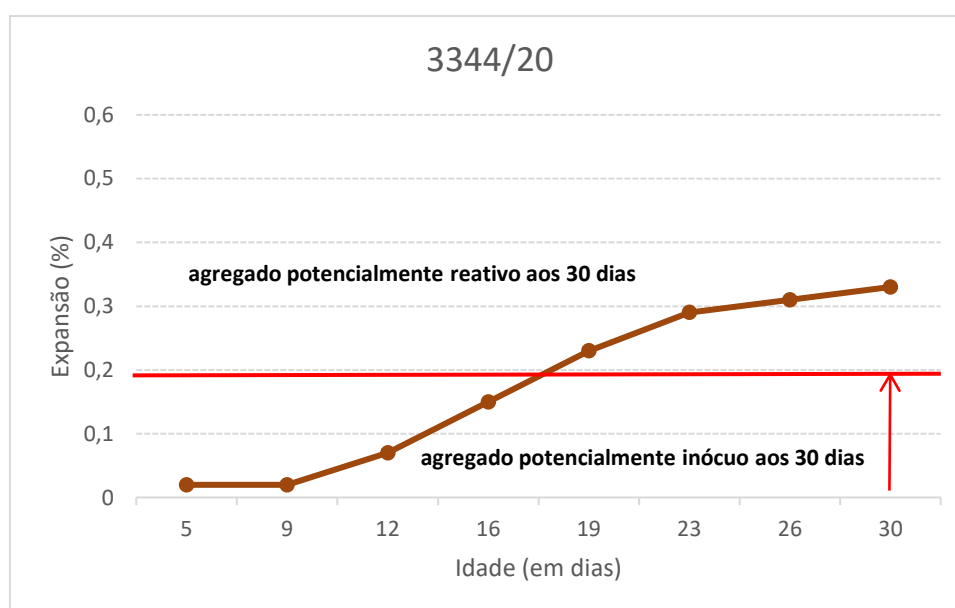


Figura 36 – Expansão da argamassa com a amostra 3344/20 (Reproduzido de Relatório IPT, 2020).

Por fim, a evolução dos resultados da amostra 3344/20 apresentou aos 30 dias de idade expansão referente à 0,33%, classificando o agregado como potencialmente reativo grau R1, de acordo com o item 5.3 da NBR 15577:1-2018.

4.9. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DA POTENCIALIDADE REATIVA DOS AGREGADOS DE TODAS AS AMOSTRAS

Todos os resultados de potencialidade reativa das amostras estão apresentados na Tabela 13, e no gráfico da Figura 37.

Tabela 13 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Reproduzida de Relatório IPT).

Idade (dias)	Expansão (%)							
	3383/19 Calcário	3385/19 Calcário	3386/19 Calcário	3568/19 Granito	3569/19 Calcário	3570/19 Granito	3571/19 Gnaisse	3344/20 Basalto
5	0,03	0,01	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,02
9	0,13	0,05	0,06	0,04	0,18	0,05	0,03	0,02
12	0,21	0,10	0,11	0,05	0,28	0,07	0,04	0,07
16	0,29	0,14	0,18	0,06	0,33	0,08	0,04	0,15
19	0,34	0,18	0,21	0,08	0,40	0,10	0,06	0,23
23	0,40	0,22	0,26	0,09	0,46	0,12	0,06	0,29
26	0,43	0,25	0,29	0,10	0,52	0,13	0,08	0,31
30	0,48	0,29	0,33	0,12	0,55	0,16	0,09	0,33

Nota 1: Conforme item 5.3 da NBR 15577:1-2018, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,19% e 0,40%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R1, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,41% e 0,60%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R2.

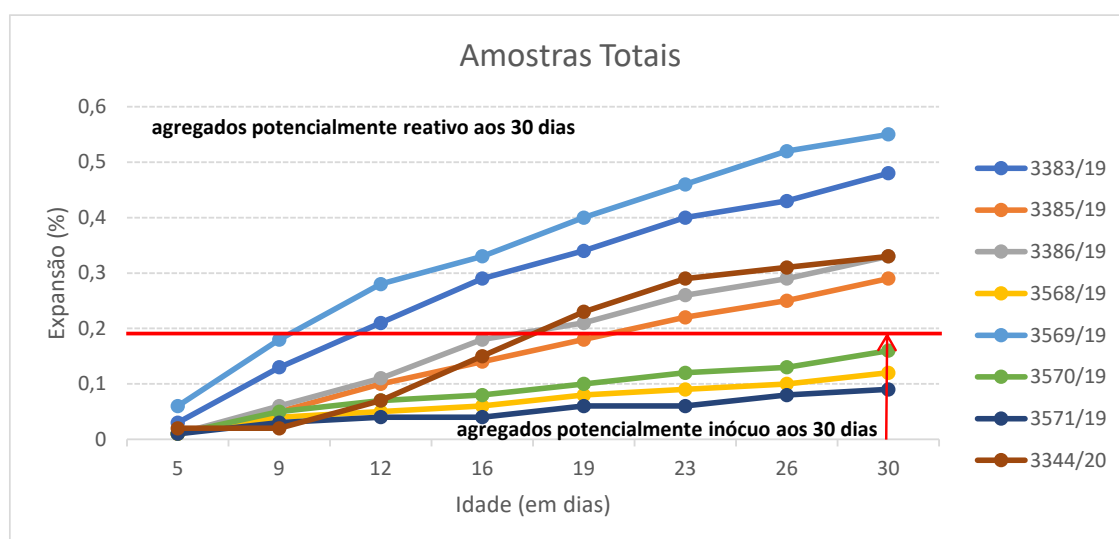


Figura 37 – Expansão da argamassa com todas as amostras (Reproduzido de Relatório IPT, 2020).

Mediante a obtenção dos resultados de expansão das amostras ensaiadas, pode-se assim classificá-las de acordo com o grau de reatividade de cada agregado, conforme exemplifica a Tabela 14.

Tabela 14 – Classificação do grau de reatividade das amostras coletadas (elaboração própria, 2020).

Amostras	Expansão das barras de argamassa aos 30 dias (%)	Classificação da reatividade potencial do agregado
3568/19, 3570/19 e 3571/19	Menor que 0,19%	Potencialmente inócuo grau R0
3385/19, 3386/19 e 3344/20	Entre 0,19 e 0,40%	Potencialmente reativo grau R1
3383/19 e 3569/19	Entre 0,40 e 0,60%	Potencialmente reativo grau R2

A partir da realização do ensaio de potencialidade reativa do agregado, nas condições de laboratório, foi possível chegar aos seguintes apontamentos:

- a) Para os resultados das amostras **(3568/Granito)** e **(3570/Granito)**, seria importante a realização de outros ensaios, adotando a Parte 6 ou 7 da NBR 15577, de modo que possa analisar os resultados e eventualmente, confrontá-los com o informado pelo fornecedor do material, cujo o qual, havia relatado que os referidos materiais já apresentaram resultados como sendo potencialmente reativos em outro período;
- b) Neste estudo, as amostras com caracterização mineralógica referente ao **Calcário** apresentaram-se como sendo mais suscetíveis à serem potencialmente reativas, ainda que sejam de Jazidas distintas;
- c) Não existe uma receita única que abranja todos os agregados, cada agregado possui características próprias e deve ser avaliado individualmente.

Os resultados desse estudo experimental permitem classificar o agregado de acordo com os graus de reatividade (R0, R1, R2 e R3) conforme ilustra a Tabela 1 deste trabalho, e a partir disso, recomendar a empregabilidade adequada do material, considerando é claro, a área de exposição do elemento estrutural e a utilização de adições mitigadoras como a escória granulada, de alto-forno, a sílica ativa, o metacaulim ou outros materiais pozzolânicos (cinza volante, pozolanas naturais, etc...), em combinação com qualquer tipo de cimento Portland.

No que se refere às medidas de mitigação, o termo mitigação, segundo a NBR 15577-1, é definido como “*abrandamento, redução ou atenuação dos efeitos da reação álcali-agregado*”. Na prática, este termo refere-se à capacidade de certas ações ou medidas em minimizar e/ou reduzir as expansões deletérias, decorrentes da RAA, causadas por um agregado reativo.

As medidas de mitigação dependem da intensidade da ação preventiva, ratificando que estas, envolvem limitar o teor de álcalis do concreto, fazer o uso de cimentos com adições ou até mesmo adições suplementares em teores adequados para cada condição.

As medidas de mitigação estão descritas na NBR 15577-1, conforme elucidada sucintamente a Figura 38.

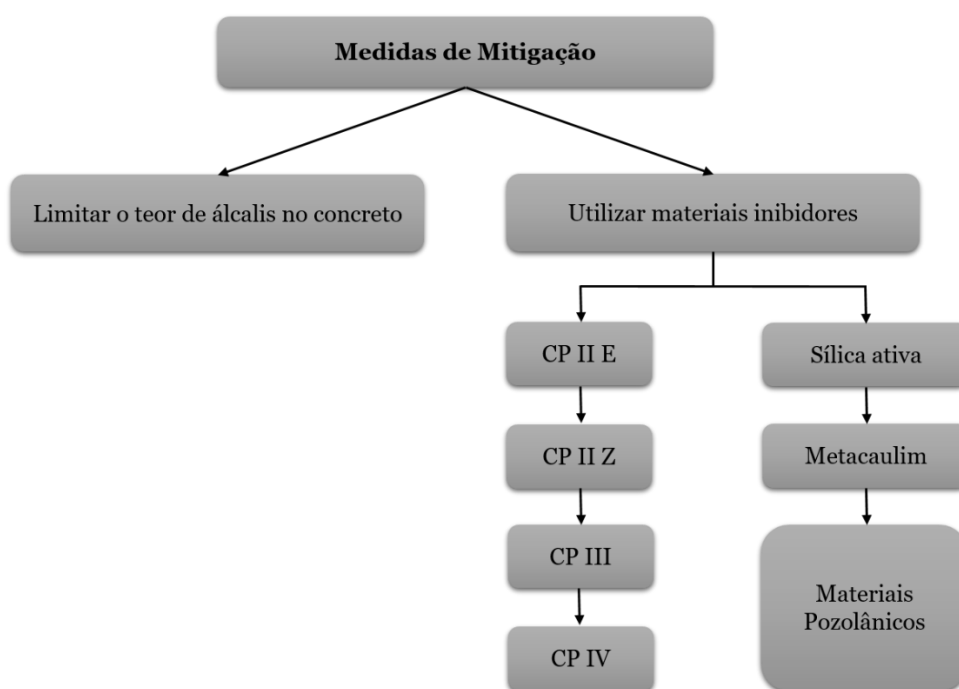


Figura 38 – Fluxograma relacionado às medidas de mitigação da RAA (SBRIGHI NETO; QUITETE; BATTAGIN, 2018).

Enfatiza-se que, independentemente dos materiais inibidores utilizados, sejam os cimentos com adições ou adições suplementares, nos casos de ação preventiva em situações que exige mais cautela, é sempre necessária a realização de ensaios comprobatórios para atestar a eficiência da mitigação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este estudo teve como objetivo principal o de realizar a análise comparativa dos resultados, com vistas a avaliar o grau da potencialidade reativa de cada agregado, respeitando, sempre, o sigilo das fontes de coleta das amostras, de modo que não comprometesse as partes envolvidas na referida pesquisa.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Independentemente das amostras coletadas serem distintas e/ou similares, no que tange à classificação mineralógica do agregado, os resultados demonstraram-se heterogêneos referente aos graus de expansão obtidos, ou seja, três amostras obtiveram porcentagem de expansão menor que 0,19%, outras três amostras ficaram entre 0,19 e 0,40%, e por fim, duas amostras obtiveram expansão entre 40 a 60%.

Durante o processo do estudo experimental identificou-se que, há a probabilidade de coletar amostras de pontos distintos, da mesma jazida, e o veio ser fator determinante para classificar se o agregado é potencialmente inócuo ou potencialmente reativo, tendo em vista que de acordo com históricos de ensaios realizados pelas empresas colaboradoras, apontaram o material sendo potencialmente reativo para as amostras 3568/19 e 3570/19.

Cabe ressaltar que, o fornecimento dos ensaios de análise da reatividade álcali agregado do material deve ser prática obrigatória das Jazidas, Pedreiras, Empresas de serviço de Concretagem, obedecendo os prazos de acordo com cada método de ensaio, conforme prescrito na NBR 15577:2018, e não obstante, cabe também à Obra destinar amostras dos materiais dispostos no canteiro de obras para serem analisadas em Laboratório, e eventualmente comparar as porcentagens de expansão obtidas entre o fornecido e o executado nas condições da obra.

5.2. SUGESTÕES PARA OUTROS TRABALHOS

As autoras deixam as seguintes sugestões para trabalhos futuros na mesma temática:

- Realizar um mapeamento das regiões que apresentam agregados potencialmente reativos no estado de São Paulo;
- Abranger as coletas das amostras de acordo com as regiões do Brasil;
- Além do método de ensaio acelerado das barras de argamassa, já empregado, adotar para algumas amostras, o método de ensaio de longa duração dos prismas de concreto, conforme estabelece a NBR 15577-6 (ABNT, 2018);
- Realizar o ensaio de análise petrográfica de acordo com a NBR 15577-2 (ABNT, 2018), que estabelece os procedimentos para a realização de coleta e redução de amostras e periodicidade dos ensaios previstos.
- Realizar o ensaio da NBR 15577-5:2018, mitigação, o qual verifica se um outro cimento (composto ou de alto forno e/ou com adições minerais) mitigam a expansão das argamassas compostas por ele e o agregado já caracterizado como reativo.
- Pesquisar terapias eficazes para tratamento da estrutura, após constatado o desenvolvimento do fenômeno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C151/C151M**: Standard Test Method for Autoclave Expansion of Hydraulic Cement. 1 ed. West Conshohocken - United States, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 1157/C1157M**: Standard Performance Specification for Hydraulic Cement. 1 ed. West Conshohocken - United States, 2017. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26 - Agregados– Amostragem**. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2009. 1 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 - Agregados para o concreto – Especificação**. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, Errata 1:2019. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9479 - Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de- prova**. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2006. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12821: Preparação de concreto em laboratório – Procedimento**. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2009. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655 - Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2015. 23 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605 –Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação de massa específica**. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2017. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16372 –Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação de finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de blaine)**. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2015. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 17 – Cimento Portland – Análise química – Método de arbitragem para determinação de óxido de sódio e óxido de potássio por fotometria de chama**. 1ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2012. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577:1 - Agregados - Reatividade álcali-agregado Parte 1: Guia para a avaliação da**

reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2018. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-2: Agregados - Reatividade álcali-agregado Parte 2: Coleta, preparação e periodicidade de ensaios de amostras de agregados para concreto.** 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2018. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-3: Agregados - Reatividade álcali-agregado Parte 3: Análise petrográfica para verificação de potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto.** 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2018. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-4: Agregados - Reatividade álcali-agregado Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado.** 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2018. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-5: Agregados - Reatividade álcali-agregado Parte 5: Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado.** 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2018. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-6: Agregados - Reatividade álcali-agregado Parte 6: Determinação da expansão em prismas de concreto.** 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2018. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577-7: Agregados - Reatividade álcali-agregado Parte 7: Determinação da expansão em prismas de concreto pelo método acelerado.** 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2018. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697 – Cimento Portland - Requisito.** 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2018. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 3310-1 – peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação. Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1, IDT).** 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2010. 20 p.

GUIA DE PREVENÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: Prática Recomendada IBRACON. [S. l.]: IBRACON, 2018. p 11.

BICZOK, I. 1972. **Corrosion y proteccion del hormigon.** Bilbao/España: Ediciones Urmo. Trad. De Emilio J. d'Ocon Asensi, p.275-280.

DIAMOND, S. 1989. ASR: **Another at mechanisms**. In: **International Conference on Alkali-Aggregate Reaction (ICAAR)**, 8., 1989, Kyoto. *Proceedings...* Kyoto: Edited by K. Okada, S. Nishibauashi & Kawamura, pp. 83-94.

GITAHY, H. S. 1963. **O problema dos agregados para concretos da barragem de Jupia**. IPT – São Paulo.

GUIA DE PREVENÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: **Prática Recomendada IBRACON**. [S. l.]: IBRACON, 2018. p 13-14.

HASPARYK, Nicole P. Reação Álcali-Agregado no Concreto: Breve Histórico e Exemplos de Casos. In: Geraldo C. Isaia. et al. **Concreto: Ciência e Tecnologia**: Volume 2. São Paulo: Ibracon, 2011. Cap. 27. p. 933-939.

HELENE et al., 2017. **Engineering field tests for alkali-aggregate reaction**. Revista Structural Concrete – Journal of the fib. Vol. 18. April. Issue 2. p., 349-355.

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

KIHARA, Y. 1986. **Reação álcali-agregado – aspectos mineralógicos**. In: I Simpósio Nacional de Agregados. São Paulo. Anais... São Paulo: Escola Plitécnica da Usp, 1986. p.127-138.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M.. **CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2014. 782 p.

MIZUMOTO, CAMILO. Mecanismo da reação álcali-agregado: Considerações gerais. In: MIZUMOTO, CAMILO. **Investigação da Reação Álcali-Agregado (RAA) em Testemunhos de Concreto e Agregados Constituintes**. Orientador: Prof. Dr. Antônio Anderson da Silva Segantini. 2009. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia - UNESP, [S. l.], 2009. p 30-38.

MUNHOZ, Flávio A. da Cunha. **RAA Medidas preventivas para evitar manifestações patológicas no concreto pela reação álcali-agregado**. Youtube: ABCP PORTLAND, 26 ago. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=e7qwbkq9S5E&feature=youtu.be>. Acesso em: 18 out. 2020.

SANCHEZ, L.; FOURNIER, B. & KUPERMAN, S. **A evolução e desenvolvimento dos ensaios laboratoriais na prevenção e avaliação da RAA**. Congresso Brasileiro do Concreto (IBRACON). Fortaleza, Brasil, 2010. 25 p.

SBRIGHI NETO, Claudio; QUITETE, Eduardo Brandau; BATTAGIN, Arnaldo Forti. **Guia da prevenção da reação álcali-agregado:** prática recomendada IBRACON. São Paulo: IBRACON, 2018. 32p. (IBRACON Comitê Técnico 201).

STANTON, T. E. Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. **Proceedings of American Society of Civil Engineers – ASCE**, v. 66, n. 10, p. 1781-1811, 1940.

Anexo A: *Boletim de Resultados referente ao Ensaio de Reatividade Potencial das amostras (3383, 3385 e 3386), elaborado pelo IPT com data de emissão em 07 de janeiro de 2020.*

Laboratório de Materiais de Construção Civil/CT-Obras/IPT

BOLETIM DE RESULTADOS

CLIENTE: RACHEL MORAIS

NATUREZA DO TRABALHO: Ensaio de reatividade potencial

1 MATERIAL

Material recebido no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do IPT. No Quadro 1 estão descritas informações complementares referentes à identificação.

Quadro 1 - Dados de identificação dos materiais.

Identificação do Cliente	Identificação IPT	
	Nº Amostra IPT/LMCC	Data do recebimento
"Brita 0 – Geocal"	3383/19	27/09/2019
"Brita 1 – Pedreira Ponte Alta"	3385/19	
"Brita 1 – Pedreira Mina Salto"	3386/19	

2 MÉTODOS UTILIZADOS

ABNT NBR 15577-4:2018 – Agregados – Reatividade álcali-agregado – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Procedimento IPT5553).

Caracterização do cimento

Óxido de sódio (Na_2O) e óxido de potássio (K_2O) solúveis em água: Procedimento IPT128 "Determinação de metais por espectrometria de absorção atômica - Procedimento de leitura" com base nas diretrizes gerais da ASTM C 114/13 "Standard Test Method for Chemical Analysis of Hydraulic Cement" e NBR 13810/97 "Determinação de metais - Método de Espectrometria de Absorção Atômica " (Procedimento IPT128).

ABNT NBR 16605/2017– Cimento Portland – Determinação da massa específica (Procedimento IPT184).

ASTM C-151-09 – Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement.

ABNT NBR 16372/2015 – Cimento Portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine) (Procedimento IPT188).

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibração.
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Laboratório de Materiais de Construção Civil/CT-Obras/IPT

3 RESULTADOS

Os resultados de reatividade são apresentados na Tabela 1 e nos gráficos das Figuras 1 a 3. Os resultados do cimento padrão utilizado e fornecido pelo IPT são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 1 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado

Idade (dias)	Expansão (%)		
	3383/19	3385/19	3386/19
5	0,03	0,01	0,01
9	0,13	0,05	0,06
12	0,21	0,10	0,11
16	0,29	0,14	0,18
19	0,34	0,18	0,21
23	0,40	0,22	0,26
26	0,43	0,25	0,29
30	0,48	0,29	0,33
<i>Nota 1 – Conforme item 5.3 da NBR 15577-1/2018, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,19% e 0,40%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R1, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,41% e 0,60%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R2.</i>			

Laboratório de Materiais de Construção Civil/CT-Obras/IPT

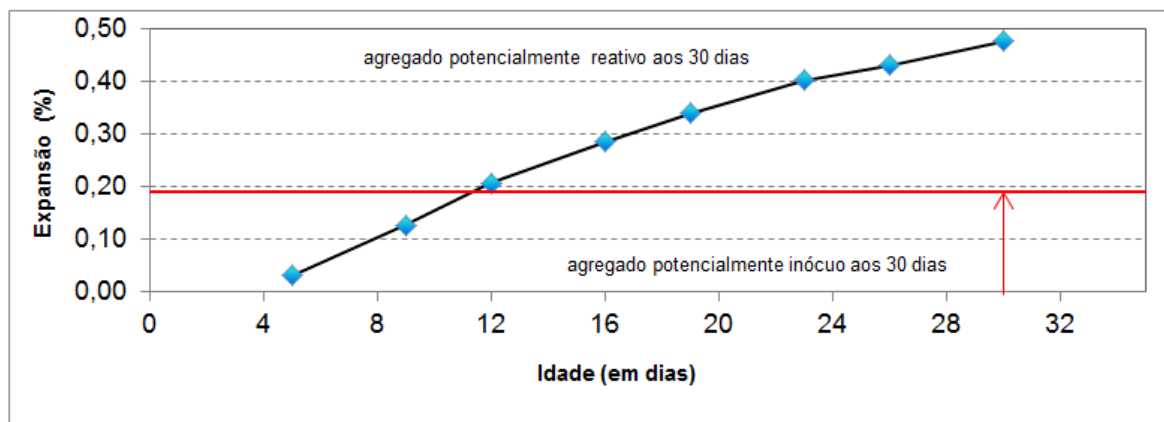


Figura 1 – Expansão da argamassa com a amostra 3383/19

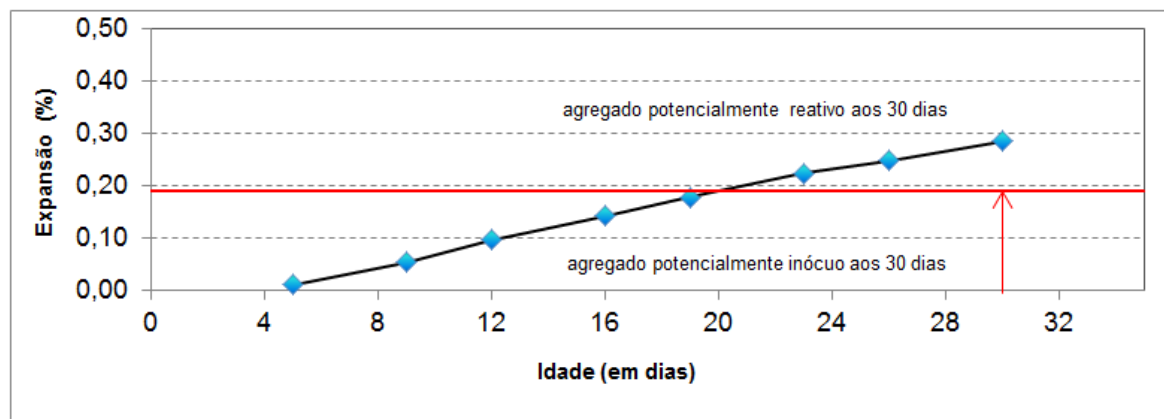


Figura 2 – Expansão da argamassa com a amostra 3385/19

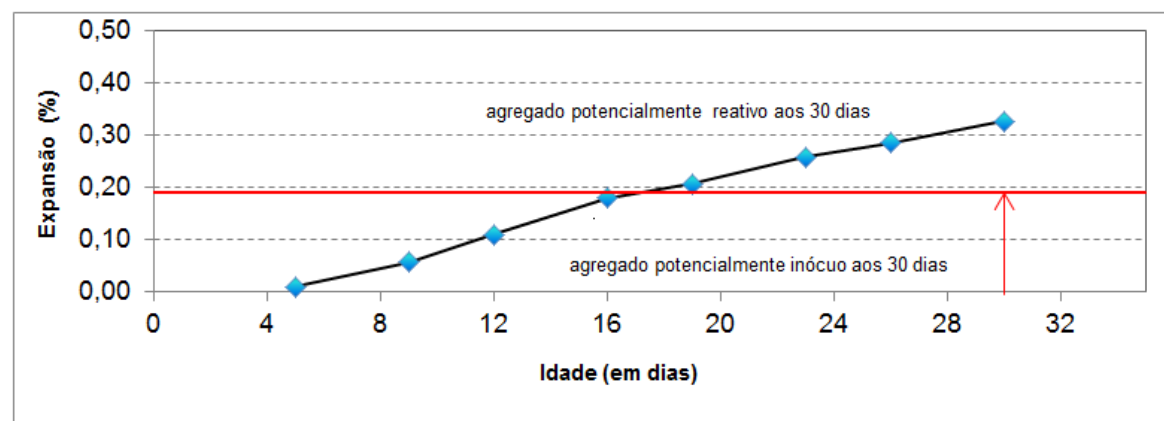


Figura 3 – Expansão da argamassa com a amostra 3386/19

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibração.
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Laboratório de Materiais de Construção Civil/CT-Obras/IPT

Tabela 2 – Caracterização do cimento padrão utilizado - ensaios químicos

Ensaio	Amostra 3357/18	
	Resultados (em %)	Requisitos estabelecidos na NBR 15577-1/2018
Óxido de sódio (Na_2O)	0,39	-
Óxido de potássio (K_2O)	0,93	-
Equivalente alcalino (em Na_2O)	1,00	$(0,90 \pm 0,10)\%$

Tabela 3 – Caracterização do cimento padrão utilizado - ensaios físicos

Ensaio	Amostra 3357/18	
	Resultados	Requisitos estabelecidos na NBR 15577-1/2018
Massa (g/cm^3)	3,08	-
Finura - Método de Blaine (cm^2/g)	5070	$(4900 \pm 200) (\text{cm}^2/\text{g})$
Finura - Método de Blaine (m^2/kg)	507	-
Expansão em autoclave (%)	0,03	-

EQUIPE TÉCNICA

Técnico Eduardo Leão Rocha – IPT

Técnico Roberto Ferreira de Lima – FIPT

Tecnóloga Karoline Mariana Gonçalves Freitas – FIPT

São Paulo, 07 de janeiro de 2020.

SEM ASSINATURAS

Anexo B: Boletim de Resultados referente ao Ensaio de Reatividade Potencial das amostras (3568, 3569, 3570 e 3571), elaborado pelo IPT com data de emissão em 12 de fevereiro de 2020.

Laboratório de Materiais de Construção Civil/CT-Obras/IPT

BOLETIM DE RESULTADOS

CLIENTE: RACHEL MORAIS

NATUREZA DO TRABALHO: Ensaio de reatividade potencial

1 MATERIAL

Material recebido no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do IPT. No Quadro 1 estão descritas informações complementares referentes à identificação.

Quadro 1 - Dados de identificação dos materiais.

Identificação do Cliente	Identificação IPT	
	Nº Amostra IPT/LMCC	Data do recebimento
"Brita 1 - Pedreira Mongaguá"	3568/19	02/10/2019
"Brita 1 - Lafarge Holcim Cajamar"	3569/19	
"Brita 1 - Lafarge Holcim Mairiporã"	3570/19	
"Brita 1 - Supermix Pedreira Maria Tereza"	3571/19	

2 MÉTODOS UTILIZADOS

ABNT NBR 15577-4:2018 – Agregados – Reatividade álcali-agregado – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado (Procedimento IPT5553).

Caracterização do cimento

Óxido de sódio (Na_2O) e óxido de potássio (K_2O) solúveis em água: Procedimento IPT128 "Determinação de metais por espectrometria de absorção atômica - Procedimento de leitura" com base nas diretrizes gerais da ASTM C 114/13 "Standard Test Method for Chemical Analysis of Hydraulic Cement" e NBR 13810/97 "Determinação de metais - Método de Espectrometria de Absorção Atômica" (Procedimento IPT128).

ABNT NBR 16605/2017– Cimento Portland – Determinação da massa específica (Procedimento IPT184).

ASTM C-151-09 – Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement.

ABNT NBR 16372/2015 – Cimento Portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine) (Procedimento IPT188).

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibração.
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Laboratório de Materiais de Construção Civil/CT-Obras/IPT

3 RESULTADOS

Os resultados de reatividade são apresentados na Tabela 1 e nos gráficos das Figuras 1 a 4. Os resultados do cimento padrão utilizado e fornecido pelo IPT são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 1 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado

Idade (dias)	Expansão (%)			
	3568/19	3569/19	3570/19	3571/19
5	0,01	0,06	0,01	0,01
9	0,04	0,18	0,05	0,03
13	0,05	0,28	0,07	0,04
16	0,06	0,33	0,08	0,04
19	0,08	0,40	0,10	0,06
23	0,09	0,46	0,12	0,06
26	0,10	0,52	0,13	0,08
30	0,12	0,55	0,16	0,09

Nota 1 – Conforme item 5.3 da NBR 15577-1/2018, quando o resultado obtido indicar expansão menor que 0,19%, o agregado pode ser considerado potencialmente inócuo para uso em concreto com grau de reatividade R0, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,19% e 0,40%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R1, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,41% e 0,60%, o agregado pode ser considerado potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R2.

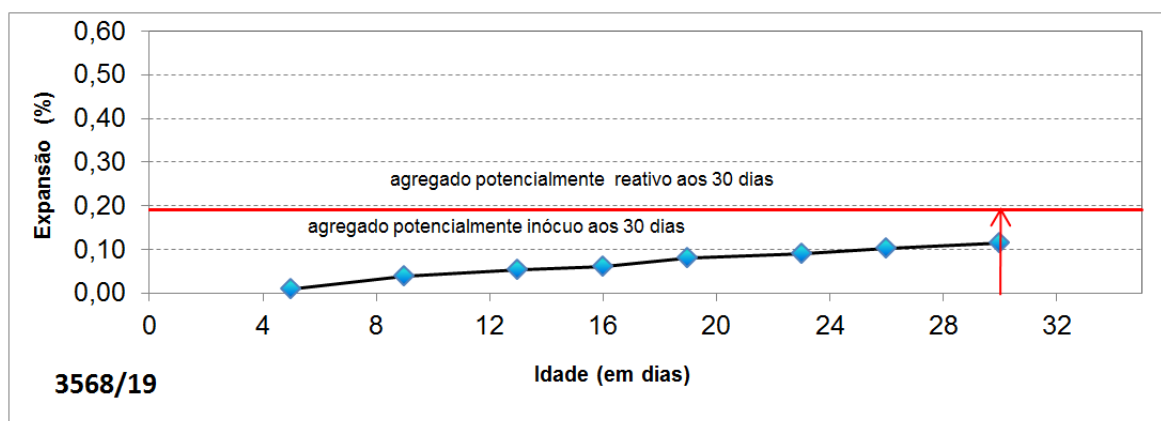


Figura 1 – Expansão da argamassa com a amostra 3568/19

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibração.
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Laboratório de Materiais de Construção Civil/CT-Obras/IPT

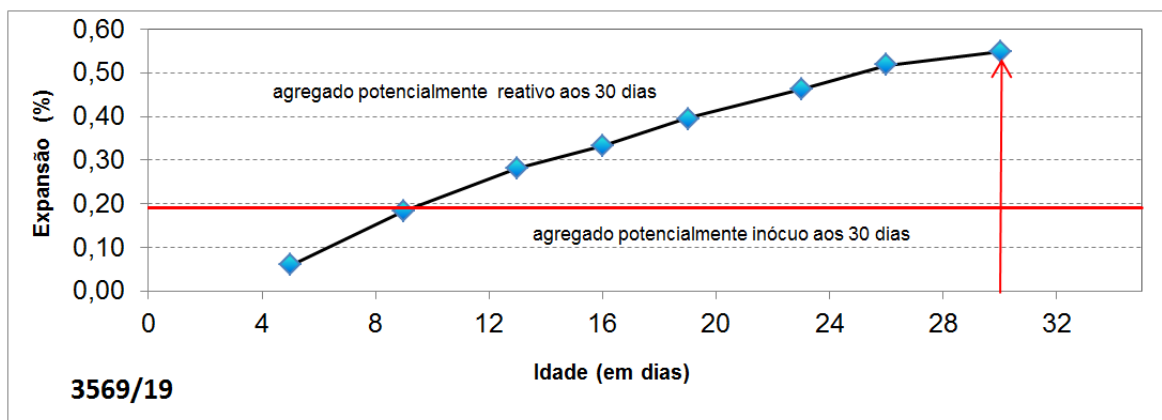


Figura 2 – Expansão da argamassa com a amostra 3569/19

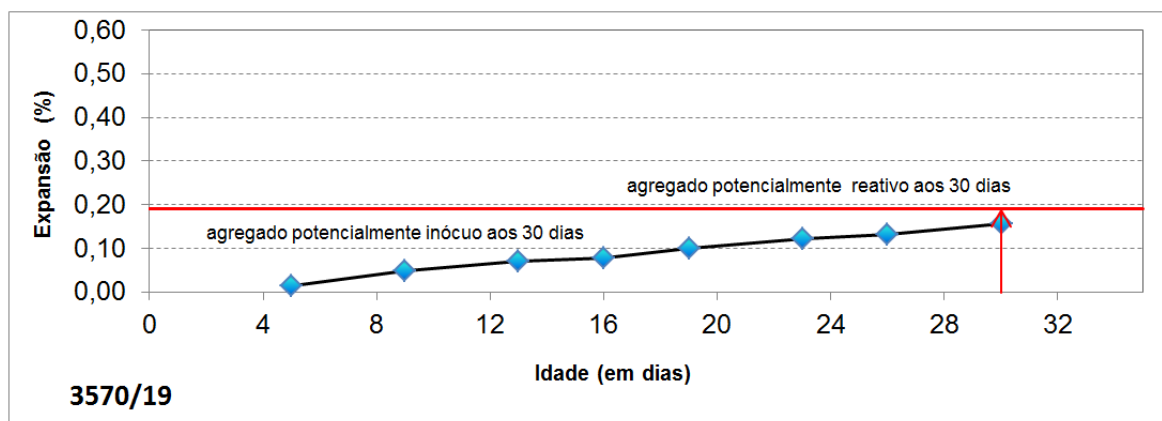


Figura 3 – Expansão da argamassa com a amostra 3570/19

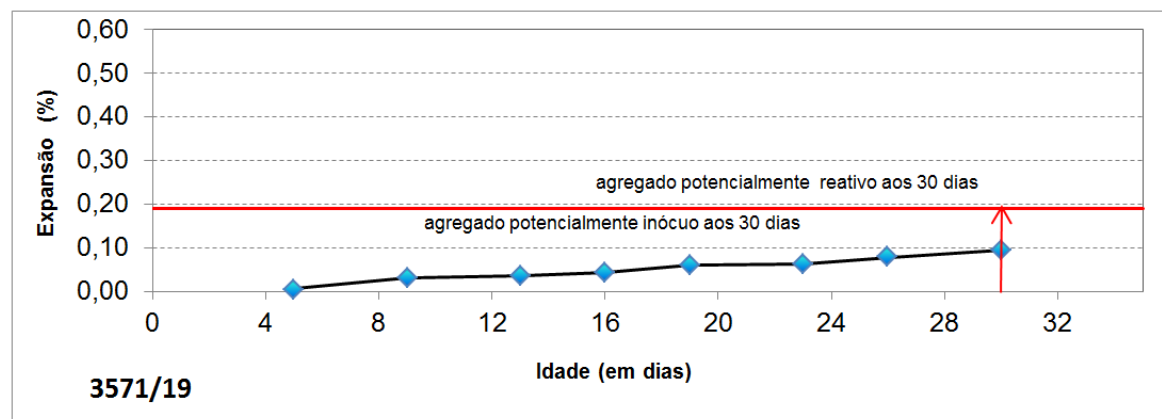


Figura 4 – Expansão da argamassa com a amostra 3571/19

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item ensaiado ou calibração.
Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização.
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Laboratório de Materiais de Construção Civil/CT-Obras/IPT

Tabela 2 – Caracterização do cimento padrão utilizado - ensaios químicos

Ensaio	Amostra 3357/18	
	Resultados (em %)	Requisitos estabelecidos na NBR 15577-1/2018
Óxido de sódio (Na_2O)	0,39	-
Óxido de potássio (K_2O)	0,93	-
Equivalente alcalino (em Na_2O)	1,00	$(0,90 \pm 0,10)\%$

Tabela 3 – Caracterização do cimento padrão utilizado - ensaios físicos

Ensaio	Amostra 3357/18	
	Resultados	Requisitos estabelecidos na NBR 15577-1/2018
Massa (g/cm^3)	3,08	-
Finura - Método de Blaine (cm^2/g)	5070	$(4900 \pm 200) (\text{cm}^2/\text{g})$
Finura - Método de Blaine (m^2/kg)	507	-
Expansão em autoclave (%)	0,03	-

EQUIPE TÉCNICA

Técnico Eduardo Leão Rocha – IPT

Técnico Roberto Ferreira de Lima – FIPT

Tecnóloga Karoline Mariana Gonçalves Freitas – FIPT

São Paulo, 12 de fevereiro de 2020.

SEM ASSINATURAS

Anexo C: *Boletim de Resultado referente ao Ensaio de Reatividade Potencial da amostra 3344, elaborado pelo IPT com data de emissão em 15 de outubro de 2020.*

Laboratório de Materiais de Construção Civil/IPT

BOLETIM DE RESULTADOS

CLIENTE: RACHEL MORAIS

NATUREZA DO TRABALHO: Ensaio de reatividade potencial

1 MATERIAL

Material coletado pelo Cliente e recebido no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) do IPT. No Quadro 1 estão descritas informações complementares referentes à identificação do material.

Quadro 1 – Dados de identificação dos materiais.

Identificação do Cliente	Identificação IPT Nº LMCC
"Brita 1"	3344-20

2 MÉTODOS UTILIZADOS

Determinação da reatividade álcali-agregado: conforme a norma ABNT NBR 15577-4:2018 "Agregados – Reatividade álcali-agregado – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado", Procedimento IPT5553 Revisão 4 de 05.06.2020.

Determinação da massa específica: conforme norma ABNT NBR 16605:2017 "Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica", Procedimento IPT184 – Revisão 9 de 27.05.2020.

Determinação da superfície específica: conforme norma ABNT NBR 16372:2015 "Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine)", Procedimento IPT188 – Revisão 6 de 27.05.2020.

Óxido de sódio (Na_2O) e óxido de potássio (K_2O) solúveis em água: "Determinação de metais por espectrometria de absorção atômica - Procedimento de leitura" com base nas diretrizes gerais da ASTM C 114:13 "Standard Test Method for Chemical Analysis of Hydraulic Cement" e NBR 13810:97 "Determinação de metais - Método de Espectrometria de Absorção Atômica", Procedimento IPT128 Revisão 2 de 08.12.2016.

Expansão por autoclave: conforme a norma ASTM C-151-09 – Test Method for Autoclave Expansion of Portland Cement.

Laboratório de Materiais de Construção Civil/IPT

3 RESULTADOS

Os resultados de reatividade são apresentados na Tabela 1 e no gráfico da Figura 1. Os resultados do cimento padrão utilizado e fornecido pelo IPT são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

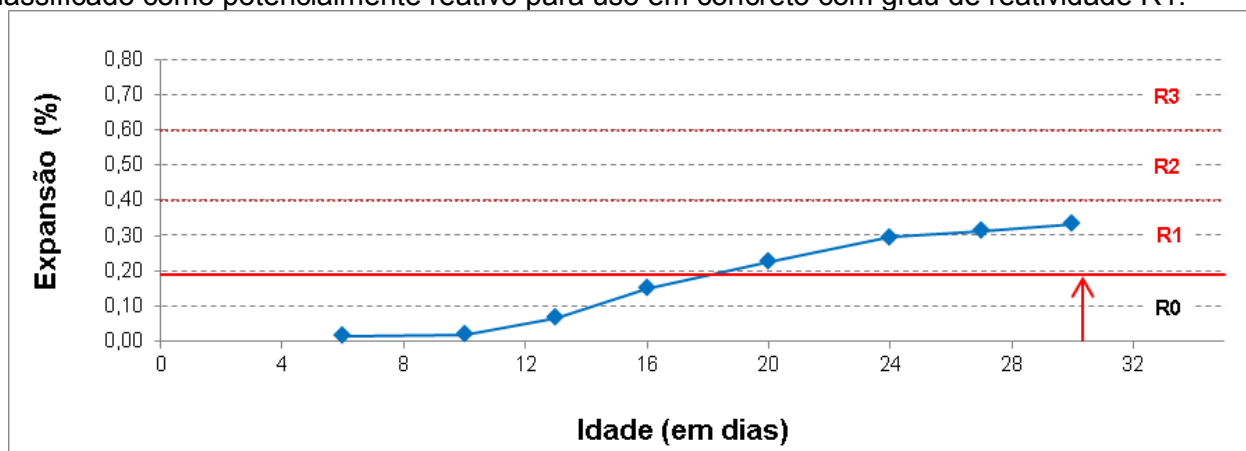
Tabela 1 – Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado – “Brita 1” (LMCC N° 3344-20).

Idade (dias)	Expansão (%)
6	0,02
10	0,02
13	0,07
16	0,15
20	0,23
24	0,29
27	0,31
30	0,33

Realização do ensaio no período de 15.09.20 a 15.10.2020.

(a) Conforme item 5.3 da NBR 15577-1:2018, quando o resultado obtido indicar expansão entre 0,19 e 0,40%, o agregado é classificado como potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R1.

Figura 1 – Expansão da argamassa com a amostra “Brita 1” (LMCC N° 3344-20), agregado classificado como potencialmente reativo para uso em concreto com grau de reatividade R1.



Fonte: Do autor (2020).

Laboratório de Materiais de Construção Civil/IPT

Tabela 2 – Ensaios químicos do cimento padrão utilizado – “cimento CP V-ARI” (LMCC N° 3045-20).

Ensaios	Resultados (em %)	Requisitos estabelecidos na NBR 15577-1:2018
Óxido de sódio (Na_2O)	0,34	-
Óxido de potássio (K_2O)	0,90	-
Equivalente alcalino (em Na_2O)	0,93	$(0,90 \pm 0,10)\%$

Tabela 3 – Ensaios físicos do cimento padrão utilizado – “cimento CP V-ARI” (LMCC N° 3045-20).

Ensaios	Resultados	Requisitos estabelecidos na NBR 15577-1:2018
Massa (g/cm^3)	3,05	-
Finura - Método de Blaine (cm^2/g)	5010	$(4900 \pm 200) (\text{cm}^2/\text{g})$
Finura - Método de Blaine (m^2/kg)	501	-
Expansão em autoclave (%)	0,15	-

EQUIPE TÉCNICA

Técnico Roberto Ferreira de Lima – FIPT

Técnico Edwin Miranda – IPT

Engenheiro Químico Sérgio Soares de Lima – IPT

Engenheiro Civil, Mestre Rafael Francisco Cardoso dos Santos – IPT

Engenheira Civil Karoline Mariana Gonçalves Freitas – FIPT

São Paulo, 15 de outubro de 2020.

SEM ASSINATURAS