



ADEQUAÇÃO DE CONCRETO PARA EVITAR RAA, UM ESTUDO DE CASO: MODERNIZAÇÃO DE UM ESTÁDIO PARA A COPA DE 2014

BRAVO, Mariana Campos (1); EUPHROSINO, Camila (2); SAVIOLI, Emanuel (3); FERREIRA, Gisleiva (4); FONTANINI, Patricia (5)

- (1) Universidade Estadual de Campinas, marianacamposbravo@yahoo.com.br
- (2) Universidade Estadual de Campinas, e-mail: ceuphrosino@gmail.com
- (3) Universidade Estadual de Campinas, e-mail: emanuelsisa@gmail.com
- (4) Universidade Estadual de Campinas, email: gisleiva@ft.unicamp.br
- (5) Universidade Estadual de Campinas, email: pspucha@gmail.com

RESUMO

As manifestações patológicas em estruturas de concreto armado podem ocorrer por problemas durante a concepção de projeto, definição de materiais, execução e monitoramento. Entre as patologias, a reação álcali-agregado (RAA) é uma expansão deletéria do concreto que pode levar ao comprometimento da capacidade de suporte da estrutura, quando não identificada e mitigada durante as fases de projeto e execução. A identificação de manifestações patológicas relacionadas à RAA ocorreu durante a fase de validação dos traços de concreto para a reforma e ampliação de um estádio de futebol destinado a Copa do Mundo de 2014, localizado no estado do Rio Grande do Sul. O estudo de caso proposto apresenta as adequações do traço necessárias para evitar a reação com adição mineral (metacaulim). A pesquisa se desenvolveu com base em referências bibliográficas sobre o assunto e os dados utilizados para o estudo de caso foram coletados pelo departamento de controle de qualidade da obra durante a obra, entre os anos de 2012 e 2013.

Palavras-chave: Reação álcali-agregado, Concreto, Mitigação.

ABSTRACT

Pathological manifestations in armed concrete structures can occur due to problems during project design, material definition, execution and monitoring. Among the pathologies, the alkali-aggregate reaction (RAA) is a deleterious expansion of the concrete that can lead to the compromise of the structure's support capacity, when not identified and mitigated during the design and execution phases. The identification of pathological manifestations related to RAA occurred during the validation phase of the concrete strokes for the renovation and expansion of a football stadium for the 2014 World Cup, located in the state of Rio Grande do Sul. The proposed case study presents the necessary adjustments to the trace to avoid the reaction with mineral addition (metakaolin). The research was developed based on bibliographic references on the subject and the data used for the case study were collected by the work quality control department during the work, between the years 2012 and 2013.

Keywords: Alkali-aggregate Reaction, Concrete, Mitigation.

1 INTRODUÇÃO

Esse trabalho tem como objetivo expor um estudo de caso com a utilização do metacaulim para prevenção de patologias com reação álcali-agregado em estruturas de concreto armado na reforma de um dos

maiores estádios de futebol do Brasil, localizado no estado do Rio Grande do Sul.

A pesquisa foi realizada no período anterior em que o Brasil iria sediar a Copa do Mundo de 2014, de modo que os estádios precisavam ser entregues pelas construtoras de acordo com padrões de qualidade exigidos pela Federação Internacional de Futebol (FIFA).

A construção do estádio ocorreu durante os anos 50 e devido à maneira rústica de construção e mão de obra voluntária utilizada não havia documentos para auxílio na elaboração do projeto de reforma, o que dificultou muito o trabalho dos engenheiros. A construtora foi contratada em 2012 para executar a obra, e a finalizou em 2014, sendo que a maior parte do estádio foi executada em concreto armado.

O concreto armado é encontrado em diversas obras, desde pequenas casas até estruturas como barragens e edifícios. Estima-se que seu consumo seja de 11 bilhões de toneladas por ano, segundo a *Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP), de modo que cada habitante do planeta consome uma média de 1,9 toneladas por ano, perdendo apenas para a água (PEDROSO, 2009).

Segundo a ABCP (2013), as concreteiras brasileiras chegaram a produzir 51 milhões de m³ em 2012 e esse número só continuou crescendo. Isso ocorreu devido ao aumento da preferência das construtoras a utilizarem sistemas construtivos à base de cimento.

Porém, o concreto pode desenvolver diversos problemas de patologias com muitas causas diferentes, como por exemplo, falhas de projeto, construção, manutenção, materiais e uso (COLEN; BRITO, 2010). Conseqüentemente, várias manifestações patológicas podem ser geradas no sistema de construção com concreto armado.

Uma das principais patologias do concreto ocorre por problemas de reação álcali-agregado (RAA), que sob certas condições, pode causar expansão deletéria do concreto ou argamassa (ABNT, 2018a).

Entre os principais métodos para mitigação do RAA está a substituição parcial do cimento Portland na mistura do concreto por materiais cimentícios suplementares (MAHYAR; ERDOGNA; TOKYAY, 2018), como por exemplo, o metacaulim e outros compósitos cimentícios que foram inseridos na mistura do concreto na ampliação do estádio.

O estudo de caso foi desenvolvido a partir dos dados coletados na bibliografia consultada e informações relatadas pelo setor da qualidade da construtora executora da recuperação e modernização do referido estádio de futebol.

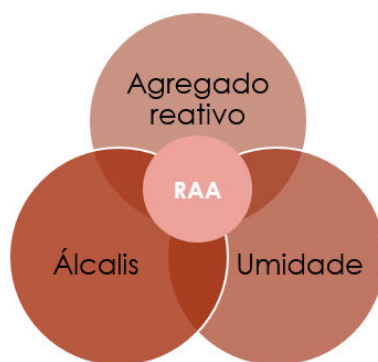
2 REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO (RAA)

2.1 Definição

A reação álcali-agregado é uma reação química que provoca expansão deletéria do concreto ou argamassa. Ela é causada por componentes alcalinos presentes no cimento Portland, como sódio ou potássio, ocorrendo quando seus íons hidroxila (OH^-) se associam à componentes minerais presentes na composição dos agregados graúdos ou miúdos (ABNT, 2018a).

Os álcalis são sais de sódio ou potássio que são solubilizados em contato com a umidade. Esta solução de íons alcalinos e hidroxila desencadeia a reação com os agregados reativos, como ilustra a Figura 1, e é absorvida pelo gel sílico-alcalino, cuja formação passa a exercer pressões internas no concreto (ABNT, 2018a, BATTAGIN; BATTAGIN; NETO, 2009).

Figura 1 – Diagrama de componentes da RAA



Fonte: Elaborado pelos autores

2.2 Origem

A origem dos álcalis pode estar relacionada aos componentes do concreto elaborado, ou serem provenientes de águas superficiais ou subterrâneas em contato com a estrutura. Dentre os elementos da composição do concreto passíveis de conter álcalis estão o próprio cimento utilizado, a água de amassamento, aditivos, adições (cinzas volantes, escórias, sílica ativa) e agregados minerais. Ainda assim, apenas são reativos os álcalis que não se fixam na estrutura cristalina do próprio agregado ou dos silicatos de cálcio hidratados formados da hidratação do cimento (BATTAGIN; BATTAGIN; NETO, 2009).

2.3 Tipos de RAA

A reação álcali-carbonato (RAC), menos comum, é consequência do uso de agregados carbonáticos que reagem à presença dos hidróxidos alcalinos do cimento Portland, desencadeando a expansão indesejada pela formação de compostos cristalizados (ABNT, 2018a).

Já a reação álcali-sílica (RAS) ocorre de maneira mais frequente, em função da maior recorrência de agregados silicosos (ABNT, 2018a). Esta sílica amorfa ou reativa combinada com o hidróxido de cálcio, provoca a formação de um gel álcali-sílica de características expansivas e conseqüentemente, causador de fissuração.

2.4 Ocorrências no Brasil

As ocorrências detectadas de RAA são dependentes da presença de água, álcalis e agregados reativos (BATTAGIN; BATTAGIN; NETO, 2009). Estes elementos acabam por se mostrar mais presentes em determinadas obras, como barragens de concreto e outras obras hidráulicas, ou em regiões específicas, onde as condições do ambiente e dos agregados disponíveis também favorecem a reação. A Quadro 1 mostra diversos casos de ocorrência de RAA no Brasil, sendo a maioria deles em barragens ou em fundações, ambas estruturas em contato frequente com água ou umidade.

Quadro 1 – Estruturas de concreto com evidências de RAA

Estrutura de Concreto	Estado	Ano de Construção	Natureza do Agregado	Natureza da Reação
Barragem de Tapacurá/DNOS	PE	1975	Granito e gnaisse cataclados	Álcali-silicato
Base de concreto de instalação industrial da White-Martins	PE	1982	Granito e gnaisse cataclados	Álcali-silicato
Base de concreto/Angelin	PE	-	Rocha granitóide deformada e milonito	Álcali-silicato
Base de concreto Mirueira	PE	-	Biotita hornblenda gnaisse	Álcali-silicato
Base de concreto Benji	PE	-	Biotita, gnaisse	Álcali-silicato
Base de concreto Pirapama	PE	-	Hornblenda, biotita, gnaisse	Álcali-silicato
Barragem de Paulo Afonso I a IV	BA/AL	1955-1979	Granito, gnaisse e migmatito	Álcali-silicato
Barragem de Pedras	BA	1970	Granito	Álcali-silicato
Barragem de Joanes II	BA	1969-1971	Gnaisse, migmatito e granulito	Álcali-silicato
Barragem de Moxotó	BA/AL	1972-1977	Granito, gnaisse e migmatito	Álcali-silicato
Barragem de Sobradinho	BA	1979	Quartzito	Álcali-silicato
Barragem de Ilha dos Pombos	RJ/MG	1920	Gnaisse milonítico, biotita e gnaisse	Álcali-silicato
Barragem de Peti	MG	1946	Gnaisse	Álcali-silicato
Barragem de Fumas	MG	1958-1963	Quartzito	Álcali-silicato
Barragem de Billings/Pedras	SP	1926	Granito	Álcali-silicato
Barragem de Pedro Beicht	SP	1932	Granito-gnaisse	Álcali-silicato
Barragem Santa Branca	SP	1960	Biotita, gnaisse cataclástico	Álcali-silicato
Barra Bonita	SP	1963	Basalto	Álcali-silicato
Usina Traição	SP	> 50 anos	Milonito	Álcali-silicato
Barragem de Rio das Pedras	SP	-	Mica-xisto e gnaisse	Álcali-silicato
Tomada d'Água/Sistema Cantareira	SP	-	Gnaisse cataclástico	Álcali-silicato
UHE Salto do Meio	PR	-	Basalto	Álcali-silicato
UHE Guaricana	PR	-	Milonito, basalto e granito	Álcali-silicato
Usina Elevatória de Pedreira	SP	-	Granito gnáissico	Álcali-silicato
Barragem Paiva de Castro	SP	-	Granito gnáissico	Álcali-silicato
Barragem de Ribeirão do Campo	SP	-	Milonito	Álcali-silicato
Barragem de Cascata	SP	-	Granito/gnaisse	Álcali-silicato
Barragem de Atibainha	SP	-	Milonito	Álcali-silicato
Reservatório de Paraibuna	SP	-	Milonito	Álcali-silicato
Barragem de Jaguari	SP	-	Gnaisse	Álcali-silicato
Barragem de Vossoroça	PR	-	Gnaisse	Álcali-silicato
Fundações de cerca de 30 prédios residenciais	PE	a maior parte na década de 80	Gnaisses e milonitos	Álcali-silicato

Fonte: Battagin, Battagin e Neto (2009)

Ainda segundo a Quadro 1, em Pernambuco diversas fundações de edificações residenciais da década de 1980 foram identificadas com ocorrência de RAA, em função de sua proximidade com o mar e a umidade constante no solo. É o caso do Edifício Rosita Hardman, em Recife-PE, construído na década de 1980, no qual foi reconhecida a reação álcali-silicato nos blocos de fundação, construídos com agregados originados de gnaisses e milonitos.

3 NORMATIZAÇÃO

3.1 Escopo da norma

As partes das normas ABNT NBR 15577 determinam as condições para a utilização de agregados em concreto, considerando as ações necessárias para evitar a ocorrência de reações expansivas deletérias causadas pela reação álcali-agregado. Também apresentam os procedimentos de amostragem e os métodos de ensaios para verificação do uso dos agregados (ABNT, 2018a). Estas estão divididas em partes que destacam os ensaios, requisitos e resultados, conforme disposto no Quadro 2:

Quadro 2 – Estruturas das Normas Brasileiras

Parte da norma	Escopo
Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto	Estabelece os requisitos para o uso de agregados em concreto, tendo em vista as medidas necessárias para evitar a ocorrência de reações expansivas deletérias devidas à reação álcali agregado e indica os procedimentos de amostragem e os métodos de ensaios necessários à verificação desses requisitos
Parte 2: Coleta, preparação e periodicidade de ensaios de amostras de agregados para concreto	Estabelece os procedimentos para a realização de coleta e redução de amostras de campo de agregados e a periodicidade de realização dos ensaios, para controle de produção e uso de agregados em concreto
Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto	Observação por microscopia e detecção de fases reativas e Ensaio de avaliação potencial
Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado	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-silica na presença dos íons hidroxila associados aos álcalis (sódio e potássio), fazendo-se uso de um cimento-padrão
Parte 5: Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado	Especifica o método de ensaio acelerado para determinar a suscetibilidade de cimentos Portland em combinação ou não com adições em mitigar a expansão de barras de argamassa elaboradas com agregados potencialmente reativos
Parte 6: Determinação da expansão em prismas de concreto	Determinação da expansão em prismas de concreto

Parte 7: Determinação da expansão em prismas de concreto pelo método acelerado	Determinação da expansão em prismas de concreto pelo método acelerado
--	---

Fonte: Elaborado pelos autores

3.2 Histórico das normas

Segundo Battagin *et al.* (2009) a primeira edição foi emitida em 2008 pelo Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados (ABNT/CB-018) e pela Comissão de Estudo de Requisitos e Métodos de Ensaio de Agregados para Concreto (CE-018:200.001), com base em normas internacionais: Canadá - CSA A.23.1/ A.23.02; Estados Unidos - ASTM C 1260 (ensaio do agregado com cimento padrão), ASTM C 1567 (ensaio do agregado com materiais inibidores da reação), ASTM C 1293 (longa duração).

A última revisão foi feita em 2018, cancela e substitui a edição anterior (ABNT NBR 15577-1:2008), a qual foi tecnicamente revisada incluindo a parte: *Determinação da expansão em prismas de concreto pelo método acelerado* (ABNT, 2018d).

Para o estudo de caso descrito a seguir, a norma utilizada foi a versão emitida em 2008, por tratar-se de período de execução da obra em questão.

4 ESTUDO DE CASO

A reação álcali agregado ocorre de forma tardia em estruturas de concreto e implica no comprometimento das características mecânicas do concreto, sendo capaz de afetar negativamente a resistência a tração e a compressão (BERENGUER *et al.*, 2016).

Considerando a gravidade das manifestações patológicas causadas pela RAA e a emissão da primeira norma brasileira ante ao tema em 2008, havia uma preocupação latente em evitar a ocorrência delas.

Próximo ao período de estudo e emissão da norma, em meados de 2007, ocorreu o aceite para a realização da Copa do Mundo de Futebol no Brasil, alertando-se ainda mais para as condições estruturais dos estádios que iriam fazer parte deste evento.

O estudo de caso descrito no artigo refere-se à condução do controle tecnológico de concreto aplicado durante a execução das obras para a Modernização e Reforma de um Estádio para a Copa do Mundo de Futebol de 2014, no Estado do Rio Grande do Sul, com o objetivo de evitar a ocorrência de RAA. Esta obra iniciou-se no ano de 2012 e foi concluída no ano de 2014, consumindo uma quantidade total de, aproximadamente, 6.966,44 toneladas de cimento.

4.1 Mapeamento das Estruturas

Entre as etapas para a execução da reforma e modernização do estádio, estavam a execução de novas estruturas em concreto armado, conforme dispostas na Figura 3 a seguir:

Figura 3 – Disposição das estruturas em concreto armado



Fonte: Elaborado pelos autores

Nesta fase, as estruturas foram estudadas por meio dos projetos estruturais, pelo departamento de qualidade em conjunto com o departamento de engenharia da obra, para que os traços de concreto fossem determinados com boa trabalhabilidade, garantia das propriedades químicas e mecânicas a cada estrutura.

4.2 Aprovação das usinas de concreto

Antes do início das concretagens das estruturas citadas na Figura 3, as usinas de concreto destinadas ao fornecimento de concreto usinado foram mapeadas e os ensaios para qualificação dos traços foram solicitados, conforme relação disposta no ANEXO 1. Classificando os ensaios por necessidade e periodicidade: Qualificação (Aprovação do material e da Usina), Controle (Ensaio de recebimento), Melhor caracterização (Analisar características e durabilidade).

4.3 Análise dos resultados

Devido ao prazo para execução das etapas da obra, o método utilizado para a determinação da reatividade potencial de álcalis em combinação cimento-agregado foi por meio da expansão em barras de argamassa

pelo método acelerado, em conformidade a ABNT NBR 15577-4 - Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Os traços cujo agregados foram classificados como reativos foram corrigidos com a adição de 10% de metacaulim ao volume do mesmo, conforme identificado na Figura 4 a seguir.

Figura 4 – Resultados das reatividades e correções



Fonte: Elaborado pelos autores

Durante o ano de 2013, não foram utilizados mais os traços das usinas externas, apenas o traço da usina da obra. Logo não se fizeram necessários outros ensaios após a adição do metacaulim.

Para a usina da obra, as qualificações dos traços através dos ensaios dispostos no ANEXO I, tiveram um tempo maior para a adequação de forma que fossem evitados o uso de agregados reativos, analisados por meio de análises petrográficas.

5 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre as limitações encontradas para a descrição deste estudo de caso, pode-se citar a falta de conteúdo acadêmico atual quanto a reatividade nos estados brasileiros e estudos de casos mais recentes sobre o controle da qualidade para evitar RAA.

Ao que tange a fase executiva da obra, o controle tecnológico de concreto do uso é fundamental para a garantia da vida útil da estrutura e à segurança dos usuários. Limitando o risco de desenvolvimento de manifestações patológicas ligadas à RAA, evitando a necessidade de uma intervenção na obra pronta.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **15577-1:** Agregados – Reatividade Álcali-Agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade

potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro, 2018a

_____. **15577-2:** Agregados – Reatividade Álcali-Agregado - Parte 2: Coleta, preparação e periodicidade de ensaios de amostras de agregados para concreto. Rio de Janeiro, 2018b

_____. **15577-3:** Agregados – Reatividade Álcali-Agregado - Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto. Rio de Janeiro, 2018c

_____. **15577-4:** Agregados – Reatividade Álcali-Agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro, 2018d

_____. **15577-5:** Agregados – Reatividade Álcali-Agregado - Parte 5: Determinação da mitigação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro, 2018e

_____. **15577-6:** Agregados – Reatividade Álcali-Agregado - Parte 6: Determinação da expansão em prismas de concreto. Rio de Janeiro, 2018f

_____. **15577-7:** Agregados – Reatividade Álcali-Agregado - Parte 7: Determinação da expansão em prismas de concreto pelo método acelerado. Rio de Janeiro, 2018g

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto.** Out. 2013. Disponível em: <<https://abcp.org.br/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/>>. Acesso em: 25 out. 2019.

BATTAGIN, I. L. S., BATTAGIN, A. F., NETO, C. S. A norma técnica brasileira de reação álcali-agregado faz seu primeiro aniversário. **Revista Concreto e Construções**, n. 54, p. 34-47, Jun/Jul. 2009.

BERENQUER, R. A., CORDEIRO, L. B., ANDRADE, T., HELENE, P., MONTEIRO, E. C. B. RAA em estrutura de concreto armado de uma edificação residencial. **Revista Concreto & Construções**, n. 83, p. 52-57, Jun/Jul. 2016.

COLEN, I.F.; BRITO, J. A Systematic approach for maintenance for budgeting of buildings façades based on predictive and preventive strategies. **Construction and Buildings Materials**. n.24, p.1718-1729, Mar. 2010.

MAHYAR, M., ERDOGNA, S.T., TOKYAY, M. Extension of the chemical index model for estimating Alkali-Silica reaction mitigation efficiency to slags and natural pozzolans. **Construction and Buildings Materials**. n.179, p.587-597, Jun. 2018.

PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Revista Concreto e Construções**, n.53, p.14-19, Jan/Fev/Mar. 2009.

ANEXO I

ROTEIRO DE APROVAÇÃO E DE ENSAIOS DE CONTROLE DE MATERIAIS UTILIZADOS EM USINAS DE CONCRETO (NBR 12654)

MATERIAIS		ENSAIOS	
MATERIAIS e NORMAS DE REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO (Item)	NORMAS DE REFERÊNCIA	NECESSIDADE / PERIODICIDADE
CIMENTO PORTLAND NBR 5741 - Cimentos - Extração e preparação de amostras; NBR 5733 - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial; NBR 5732 - Cimento Portland Comum - Especificação	4. 1. 2. 3 a) e 4. 1. 3. 2 a) Finura da peneira 0,075mm	NBR 11579 - Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75µm (nº 200) - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina) Controle (Ensaio de recebimento)
	4. 1. 2. 3 b) e 4. 1. 3. 2 b) Área específica (exceto nos cimentos tipos CP-III e CP-IV)	NBR 7224 - Cimento Portland e outros materiais em pó	Qualificação (Aprovação do material e da Usina) Controle (Ensaio de recebimento)
	4. 1. 2. 3 c) e 4. 1. 3. 2 c) Tempos de início e fim de pega	NBR 11581 - Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega - Método de ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina) Controle (Ensaio de recebimento)
	4. 1. 2. 3 d) Expansibilidade a quente	NBR 11582 - Cimento Portland - Determinação da expansibilidade de Le Chatelier - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)
	4. 1. 2. 3 e) e 4. 1. 3. 2 d) Resistência à compressão nas idades específicas para cada tipo de cimento	NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da Resistência à Compressão	Qualificação (Aprovação do material e da Usina) Controle (Ensaio de recebimento)
	4. 1. 2. 3 f) Perda ao fogo	NBR 5743 - Cimento Portland - Determinação de perda ao fogo	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)
	4. 1. 2. 3 g) Resíduo insolúvel	NBR 5744 - Cimento Portland - Determinação de resíduo insolúvel - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)
	4. 1. 2. 3 h) Trióxido de enxofre (SO ₃)	NBR 5745 - Cimento Portland - Determinação de anidrido sulfúrico - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)
	4. 1. 2. 3 i) Óxido de Magnésio (MgO)	NBR 5742 - Análise química de Cimento Portland - Processos de arbitragem para determinação de dióxido de silício, óxido férrico, óxido de alumínio, óxido de cálcio e óxido de magnésio NBR NM 11-2 - Cimento Portland - Análise química - Determinação de óxidos principais por complexometria	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)
	4. 1. 2. 3 j) Anidrido carbônico	NBR NM 11-2 - Cimento Portland - Análise química - Determinação de óxidos principais por complexometria NBR NM 20 - Cimento Portland e suas matérias primas - Análise química - Determinação de dióxido de carbono por gasometria	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)
	4. 1. 2. 4 a) Expansibilidade a frio	NBR 11582 - Cimento Portland - Determinação da expansibilidade de Le Chatelier - Método de Ensaio	Melhor caracterização (Analisar o comportamento do material)
	4. 1. 2. 4 b) Resíduo insolúvel no cimento (CP IV)	NBR 8347 -	Melhor caracterização (Analisar o comportamento do material)
	4. 1. 2. 4 c) Índice de consistência da argamassa normal	NBR 11580 - Cimento Portland - Determinação da água da pasta de consistência normal - Método de Ensaio	Melhor caracterização (Analisar o comportamento do material)
	4. 1. 2. 4 d) Enxofre na forma de sulfato (para cimento CP III)	NBR 5746 -	Melhor caracterização (Analisar o comportamento do material)
	4. 1. 2. 4 e) Óxido de sódio e potássio	NBR 5747 - Cimento Portland - Determinação de óxido de sódio e óxido de potássio por fotometria de chama - Método de Ensaio	Melhor caracterização (Analisar o comportamento do material)
	4. 1. 2. 4 f) Óxido de cálcio livre	NBR 7227 - Cimento Portland - Determinação de óxido de cálcio livre pelo etilenoglicol - Método de Ensaio NBR 5742 - Análise química de Cimento Portland - Processos de arbitragem para determinação de dióxido de silício, óxido férrico, óxido de alumínio, óxido de cálcio e óxido de magnésio	Melhor caracterização (Analisar o comportamento do material)
	4. 1. 2. 4 g) Calor de hidratação a partir do calor de dissolução	NBR 8809 - Cimento Portland - Determinação do calor de hidratação a partir do calor de dissolução - Método de Ensaio	Melhor caracterização (Analisar o comportamento do material)
	4. 1. 2. 4 h) Calor de hidratação utilizando a garrafa de Langravant	NBR 12006 - Cimento - Determinação do calor de hidratação pelo método da garrafa de Langravant - Método de Ensaio	Melhor caracterização (Analisar o comportamento do material)
	4. 1. 2. 4 i) Indicação dos compostos C3A e C4AF + C2F para o CP V	NBR NM 11-2 - Cimento Portland - Análise química - Determinação de óxidos principais por complexometria NBR 5740 - Análise química de Cimento Portland - Disposições gerais - Método de Ensaio	Melhor caracterização (Analisar o comportamento do material)
	4. 1. 2. 4 j) Teor de escória nos cimentos CP III e CP II-E	NBR 9775 - Agregado miúdo - Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman - Método de ensaio	Melhor caracterização (Analisar o comportamento do material)
4. 1. 2. 4 k) Atividade pozolânica dos cimentos CP IV	NBR 5753 - Cimento Portland - Ensaio de pozolanicidade para cimento Portland pozolânico	Melhor caracterização (Analisar o comportamento do material)	
4. 1. 2. 4 l) Teor de pozolana nos cimentos CP IV e CP II-Z	NBR 5753 - Cimento Portland - Ensaio de pozolanicidade para cimento Portland pozolânico	Melhor caracterização (Analisar o comportamento do material)	

ROTEIRO DE APROVAÇÃO E DE ENSAIOS DE CONTROLE DE MATERIAIS UTILIZADOS EM USINAS DE CONCRETO (NBR 12654)

MATERIAIS		ENSAIOS		
MATERIAIS e NORMAS DE REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO (Item)	NORMAS DE REFERÊNCIA	NECESSIDADE / PERIODICIDADE	
<p align="center">AGREGADOS (independente da grauação) NBR 7211 - Agregados para concreto - Especificação</p> <p>AG = Agregado Graúdo AM = Agregado Miúdo</p>	4. 2. 1. 1 a) e 4. 2. 3. 1 a) Determinação da composição granulométrica (AM + AG)	NBR 7217 - Agregados - Determinação da composição granulométrica	Qualificação (Aprovação do material e da Usina) Controle (Ensaio de recebimento)	
	4. 2. 1. 1 b) Determinação da massa unitária em estado solto (AM + AG)	NBR 7251 - Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)	
	4. 2. 1. 1 c) e 4. 2. 3. 1 b) Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis (AM + AG)	NBR 7218 - Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina) Controle (Ensaio de recebimento)	
	4. 2. 1. 1 d) e 4. 2. 3. 1 c) Determinação do teor de materiais pulverulentos (AM + AG)	NBR 7219 - Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina) Controle (Ensaio de recebimento)	
	4. 2. 1. 1 e) e 4. 2. 3. 1 d) Determinação do teor de partícula leves (AM + AG)	NBR 9937 - Agregados - Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina) Controle (Ensaio de recebimento)	
	4. 2. 1. 1 f) Determinação do teor de cloretos e sulfatos solúveis em água (AM + AG)	NBR 9917 - Agregados para concreto - Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)	
	4. 2. 1. 3 a) e 4. 2. 3. 2 a) Determinação de impurezas orgânicas húmicas (AM)	NBR 7220 - Agregados - Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina) Controle (Ensaio de recebimento)	
	4. 2. 1. 3 b) Ensaio de qualidade do agregado (AM)	NBR 7221 - Agregado - Ensaio de qualidade de agregado miúdo - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)	
	4. 2. 1. 3 c) Determinação do inchamento (AM)	NBR 6467 - Agregados - Determinação do inchamento do agregado miúdo - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)	
	4. 2. 1. 3 d) Determinação da massa específica na condição saturada superfície seca (AM)	NBR 9776 - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)	
	4. 2. 1. 3 e) Determinação da absorção da água (AM)	NBR 9777 - Agregados - Determinação da absorção de água em agregados miúdos - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)	
	4. 2. 3. 2 b) Determinação da umidade superficial (AM)	NBR 9775 - Agregado miúdo - Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman - Método de ensaio	Controle (Ensaio de recebimento)	
	4. 2. 1. 4 a) Determinação da massa específica na condição saturada - superfície seca (AG)	NBR 9937 - Agregados - Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)	
	4. 2. 1. 4 b) Determinação da absorção de água (AG)	NBR 9937 - Agregados - Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)	
	4. 2. 1. 4 c) Determinação da massa unitária compactada seca (AG)	NBR 7810 - Agregado em estado compactado seco - Determinação da massa unitária - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)	
	4. 2. 1. 4 d) Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro (AG)	NBR 7809 - Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)	
	4. 2. 1. 4 e) Determinação da abrasão "Los Angeles" (AG)	NBR 6465 - Agregados - Determinação da abrasão "Los Angeles" - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina)	
	4. 2. 2 a) Análise petrográfica (AG + AM)	NBR 7389-1 - Agregados - Análise petrográfica de materiais naturais, para concreto - Parte 1: agregado miúdo NBR 7389-2 - Agregados - Análise petrográfica de materiais naturais, para concreto - Parte 2: agregado graúdo	Qualificação (Aprovação do material e da Usina) Melhor caracterização (Analisar características e durabilidade) Qualificação (Aprovação do material e da Usina) Melhor caracterização (Analisar características e durabilidade)	
	4. 2. 2 b) Determinação da reatividade potencial de álcalis em combinação cimento-agregado (AG + AM)	NBR 15577-4 - Agregados - Reatividade alcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado	Qualificação (Aprovação do material e da Usina) Melhor caracterização (Analisar características e durabilidade)	
	4. 2. 2 c) Avaliação da reatividade potencial das rochas carbonáticas com álcalis do cimento (AG + AM)	NBR 10340 - Agregados - Avaliação da reatividade potencial das rochas carbonáticas com os álcalis do cimento - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina) Melhor caracterização (Analisar características e durabilidade)	
	4. 2. 2 d) Determinação da resistência ao esmagamento (AG)	NBR 9938 - Agregados - Determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos - Método de Ensaio	Qualificação (Aprovação do material e da Usina) Melhor caracterização (Analisar características e durabilidade)	
	ÁGUA	Na qualificação das fontes de água, deve-se considerar a presença de: SULFETOS, CLORETOS, QUANTIDADE DE MATÉRIA ORGÂNICA PRESENTE (EXPRESSA EM OXIGÊNIO CONSUMIDO), SÓLIDOS DISSOLVIDOS, SÓLIDOS TOTAIS, SÓLIDOS EM SUSPENSÃO, pH		As amostras devem ser coletadas por ocasião da seleção das fontes de abastecimento para a obra. Se, durante a sua execução, for observada alteração na qualidade da água, a critério do responsável pelo controle tecnológico, devem ser realizadas outras amostragens.
	ADITIVOS (ver normas específicas para cada tipo)	A amostragem e ensaios para qualificação de aditivos devem ser realizadas conforme:	NBR 11768 - Aditivos para concreto de Cimento Portland - Especificação	Controle (Ensaio de recebimento)
			NBR 12317 - Verificação de desempenho de aditivos para concreto - Procedimento	Controle (Ensaio de recebimento)