

Água como indutora de patologias nas Edificações,

a partir da tese de mestrado na UFF de
João Cassim Jordy

www.iliescu.com.br

iliescu@iliescu.com.br

Preliminares

- Há de se promover a proteção das edificações e construções contra a deterioração e degradação devido à penetração por líquidos, vapores e gases de substâncias agressivas existentes na atmosfera, em fumaças poluentes, no solo ou estocados em depósitos artificiais ou naturais.
- Esta proteção está relacionada a todo e qualquer tratamento feito nas edificações e construções, particularmente as formadas por estrutura em concreto, incluindo suas superestruturas, infraestruturas, alvenarias, pavimentações, revestimentos, coberturas e demais elementos externos ou internos, a fim de protegê-las contra a penetração de agentes agressivos e percolação de líquidos e/ou vapores para o seu interior.
- Os tratamentos protetores estão ligados ao bem estar, à saúde dos usuários das edificações e ao patrimônio das sociedades como um todo, na medida em que impedem a proliferação de enfermidades nas pessoas, evitam a instauração e proliferação de anomalias nas estruturas e demais elementos constituintes das edificações.

Outras considerações

- As impermeabilizações devem, preferencialmente, ser efetuadas através de envolvimento superficial dos elementos e estruturas das edificações. Todavia, conforme o caso, podem ser propostos tratamentos por meio de colmatações superficiais ou internas através da porosidade das estruturas de concreto, das argamassas cimentícias e das alvenarias.
- Em casos de elementos subterrâneos e fundações das edificações, as proteções podem ser executadas por meio de impregnações de produtos no solo impedindo o contato e penetração dos agentes agressivos através das fundações e do embasamento.
- Existe, também, o conceito de “impermeabilização vertical”, que engloba os tratamentos de paramentos e empenas das edificações e de elementos como peitoris, platibandas, caixilharia (contra marcos e janelas externas), juntas verticais e interfaces alvenarias/estruturas.

O conceito da proteção

- A impermeabilização tem sido um assunto abordado de forma sucinta nas instituições de ensino de Engenharia e Arquitetura e, igualmente, tratado de maneira não criteriosa pelos profissionais responsáveis por projetos e obras de edificações e construções. Torna-se necessário mudar esta ótica, pois a ocorrência de falhas de estanqueidade nas impermeabilizações ou mesmo sua inexistência, propiciam a deterioração das construções.
- Uma obra de edificação sem previsão de projetos e serviços de impermeabilização estará exposta à penetração de agentes agressivos e sujeita a danos, degradações, riscos de ruína, diminuição de sua vida útil, altos custos de manutenção e/ou recuperação, desvalorização em relação ao mercado imobiliário, pendências jurídicas de diversos tipos, entre outros fatores nocivos às construções e usuários.
- A seleção do sistema de impermeabilização ideal para cada área ou elemento da edificação está relacionada a fatores como custo unitário, durabilidade, facilidade de aplicação, forma e comportamento da estrutura, forma de atuação da água e vapores, incidência de raios solares, necessidade de proteção mecânica, toxidade dos materiais e riscos aos aplicadores, interferências entre projetos envolvidos, tipo de sistema construtivo, tipo de edificação, análise do meio-ambiente e de agentes agressivos, dentre outras condicionantes.

A seleção da proteção

- De forma geral na análise, engenheiros ou arquitetos devem avaliar as condições de durabilidade exigidas para a construção como um todo, obtendo dados relacionados ao grau de exposição ao meio ambiente, incluindo aspectos da atmosfera, condições geotécnicas, nível do lençol freático, microclimas formados em cômodos confinados, drenagem e condições gerais relacionadas a outros projetos envolvidos na construção.
- A atuação da água e vapores poderá indicar um ou outro sistema de impermeabilização a aplicar, levando-se em consideração fatores como facilidades de ancoragem, estabilidade do sistema em paramentos verticais e sobre tetos (faces inferiores de lajes), como no caso de reservatórios e saunas. E ainda, pressões negativas (empuxo hidrostático negativo) e/ou imposições construtivas, como em subsolos junto às divisas com edificações vizinhas.
- No caso do lençol freático, o seu nível máximo e tipo de água poderão impor diferentes sistemas impermeabilizantes para aplicação em cisternas, cintas, pisos, alvenarias térreas, estruturas subterrâneas e fundações.

Vantagens da proteção por impermeabilização

- A proteção das edificações com sistemas impermeabilizantes evita a recorrência a dispendiosas e incômodas obras de recuperação. Sua importância deve-se, também, ao fato de garantir a saúde dos ocupantes e usuários das edificações ao evitar que a penetração, percolação e acúmulo de água propiciem um “habitat” ideal à proliferação de fungos e bactérias geradores de alergias, doenças respiratórias e outras enfermidades.
- Cabe frisar que, segundo dados estimados por especialistas em obras de edificações, o custo de uma impermeabilização perfaz, em média, 2% do custo de uma construção nova. Em contrapartida, este percentual aumenta consideravelmente no caso de obra de re-impermeabilização em áreas expostas à infiltrações, além de transtornos com intervenções para execução de reparos. As impermeabilizações, quando associadas a tratamentos de isolamento térmico, podem representar economia substancial de custos com consumos de energia relativos à refrigeração ou aquecimento e servem como parâmetros para menores taxas de seguros imobiliários.

Ação da água e outros agentes agressivos

- A água desempenha um importante papel nas edificações, na medida em que é empregada na preparação de argamassas, concreto e outros materiais de construção, simples ou conjugados, compondo esses e outros sistemas construtivos. Sua maior ou menor quantidade na fabricação de determinados materiais de construção são indicadores da durabilidade.
- Paradoxalmente, a água atua como o principal agente dos processos de degradação das edificações por meio da deterioração dos materiais, agindo de per si ou em conjunto com outros agentes agressivos, constituindo-se no veículo para acesso destes agentes ao interior das edificações.
- Segundo Machado (1998), as edificações sofrem patologias e se deterioram devido ao envelhecimento dos materiais de construção, pela ação do meio ambiente ou intemperismo, por deficiências na utilização e conservação e devido a deformações geradas segundo obras na própria construção ou adjacências.

Agentes agressivos

- Os agentes agressivos presentes na atmosfera e nos solos vizinhos às edificações, são vetores que induzem à deterioração, segundo a microestrutura de cada material de construção e comprometem integridade e estabilidade dos elementos estruturais das edificações.
- Os agentes agressivos físicos compreendem águas de chuva, umidade por capilaridade, infiltrações d'água, vapor d'água, umidade do ar, gelo; radiação solar, particularmente os raios ultravioleta (UV); variações de temperatura; ventos; granizo e poeira com partículas de materiais inertes.
- Os agentes agressivos químicos englobam sais presentes no ar atmosférico (névoa salina contendo enxofre e cloro) ou nos solos e mares; oxigênio, ozônio e gás carbônico, encontrados na composição do ar atmosférico; monóxido de carbono, óxidos de enxofre (dióxido e trióxido de enxofre), óxido de nitrogênio, dentre os gases poluentes; ácidos húmicos do solo; produtos químicos de utilização doméstica (água sanitária, soda cáustica e ácido muriático); solventes orgânicos; óleos; gorduras; águas subterrâneas ferruginosas e carbonatadas.

Agentes agressivos

- Os agentes agressivos biológicos são bactérias e fungos; cracas marinhas (tipo de ostra) e conchas; vegetação composta por algas, líquens e raízes; insetos, formigas e cupins; animais roedores e seres humanos e seus dejetos.
- Os agentes agressivos mecânicos são águas em movimento, águas sob pressão; pressões do solo; cargas permanentes e periódicas; forças e deformações impostas e vibrações.
- Particularmente, nota-se que a água encontra-se associada aos diversos tipos de agentes de deterioração físicos, químicos, biológicos e mecânicos. Pode-se afirmar que a água é o maior elemento indutor da deterioração do concreto e das armaduras nas construções.
- Cánovas (1988) distinguia três diferentes tipos de corrosão do concreto devido às águas, a saber: por ação das águas puras, por águas contendo substâncias que produzem reações de troca iônica e por águas com produtos químicos

Corrosão

- Corrosão por ação das águas puras, que atuam dissolvendo e arrastando o hidróxido de cálcio do cimento endurecido, liberado após o processo de hidratação. Sua dissolução e o transporte do hidróxido de cálcio dão origem à decomposição de outros compostos hidratados, tornando o concreto poroso e causando sua desintegração com o tempo;
- Corrosão por águas contendo substâncias que produzem reações de troca iônica, isto é, existem águas que contêm substâncias químicas dissolvidas que reagem com certos constituintes da pasta do cimento Portland endurecida, sendo os produtos resultantes facilmente dissolvidos, lixiviados pela água em movimento ou separados em estado amorfo de baixa resistência mecânica;
- Corrosão devida a águas com produtos químicos, que dão origem a sais expansivos. Aqui, os sais expansivos formados, após o ataque químico, cristalizam-se e preenchem os poros e capilares do concreto, exercendo pressões intensas sobre as paredes dos poros, levando à fissuração e ruptura do concreto.

Corrosão

- São prejudiciais ao concreto e às argamassas cimentícias, as águas com poucas substâncias dissolvidas (águas puras), ácidos, álcalis, sais e suas respectivas soluções. Os líquidos, em particular as águas que contenham íons agressivos, são encontrados na atmosfera, nos solos e em ambientes confinados (formação de micro climas). Entretanto, a ação prejudicial para o concreto só tem lugar quando a substância agressiva alcança o concreto em forma de gás úmido (dispersa em vapor d'água), dissolvida em líquido (principalmente em águas) e, sobretudo, sob a forma ionizada.
- Os agentes agressivos mais deletérios são os seguintes: Cl^- , Mg^{++} , $\text{SO}_4=$, NH_4^+ , H^+ , HCO_3^- , OH^- , segundo escala decrescente de agressividade ao concreto. Os íons agressivos podem realizar suas ações destrutivas de forma isolada ou simultânea (Biczók, 1978). Considerando os processos corrosivos do aço das armaduras, a presença de água favorece o fenômeno, principalmente associado a íons cloretos, sulfato, sulfeto e de anidrido carbônico ou mesmo devido à ação da água pura, conduzindo a processos de dissolução dos componentes da pasta de cimento endurecida, resultando em redução do pH da massa de concreto a 9, aproximadamente.

Águas de infiltração e vazamentos

- São águas exteriores que, nos vários estados físicos e origens, penetram nos elementos das edificações a partir do exterior: revestimentos, janelas, peitoris, lajes, alvenarias, paredes, platibandas, telhados, fundações e embasamentos ou águas que penetram através de paredes e lajes de áreas molháveis internas ou de reservatórios da edificação. A NBR 8083/83 define infiltração como "a penetração indesejável de fluidos nas construções".
- São águas que vazam pelas falhas nas instalações hidráulicas, sanitárias e de águas pluviais e percolam através de alvenarias, revestimentos e componentes estruturais das edificações. As falhas em instalações hidráulicas, em geral, surgem devido a anomalias ligadas a sobrepressões, causadas por "golpe de Aríete", após fechamento abrupto de válvulas de descarga e outras anormalidades como deficiências em conexões.
- Nas instalações sanitárias podem ocorrer deficiências nas ligações de juntas elásticas ou coladas e no corpo das caixas de inspeção e poços de visita, passando do vazamento para as infiltrações pelo solo ou aterro, causando diversos danos às edificações, como afundamentos de pisos, agressões ao concreto, alvenarias e revestimentos.

Águas de vazamentos e percolação

- No caso de instalações de águas pluviais, podem surgir anomalias geradas por pressões negativas no interior de tubos, tendendo a fissurá-los e até mesmo esmagá-los, após o "afogamento" das entradas de coletores. Esta anomalia pode ocorrer no momento da descarga de volumes d'água formados para a execução de ensaios hidráulicos ("testes de estanqueidade") sobre as áreas impermeabilizadas.
- Água de percolação: "É aquela que atua em terraços e coberturas, empenas e fachadas, onde existe livre escoamento, sem exercer pressão hidrostática sobre os elementos da construção" (Cunha; Neumann, 1979).
- Água de percolação: "É a água que atua sobre superfícies, não exercendo pressão hidrostática superior a 1kPa" (NBR 8083).
- "Chama-se percolação, a passagem da água através de um corpo por transmissão grão à grão" (Verçosa, 1985).
- Água com pressão ou água sob pressão: "É a que atua em solos, caixas d'água, piscinas, exercendo força hidrostática sobre a impermeabilização" (Cunha; Neumann, 1979). "Água confinada ou não, exercendo pressão hidrostática superior a 1 kPa" (NBR 8083).

Águas de capilaridade

- Água (ou umidade) de capilaridade: “É a ação da água sobre os elementos das construções que estão em contato com bases alagadas ou solo úmido. A água é absorvida e transportada pela ação da capilaridade de materiais porosos até acima do nível estático” (Cunha; Neumann, 1979).
- “Umidade do solo: água existente no solo, absorvida e/ou adsorvida pelas partículas do mesmo” (NBR 8083, 1983). A água de capilaridade ocorre em situações de contato dos materiais porosos de construção com água depositada em seus embasamentos. A água sobe através da porosidade capilar até um estágio de equilíbrio entre as forças de ascensão capilar e gravidade, correspondendo a uma altura que pode variar conforme o tipo de material e respectiva porosidade.
- No caso de tijolos cerâmicos e de argamassas higroscópicas, a altura de capilaridade pode atingir, em geral, altura entre 0,40 m e 0,80 m. Em certas situações, porém, já foram observadas alturas maiores, entre 1,00 e 1,20 m.

Água na forma de vapor e absorvida

- Trata-se da difusão da água na forma de vapor, a qual migra através de um ou vários elementos da construção. É um fenômeno físico, relacionado com a porosidade do elemento construtivo e observado através das características de absorção e permeabilidade, também sob a influência da temperatura e pressão atmosféricas que afetam o elemento.
- A água em forma de vapor pode ser visualizada na forma de deteriorações em fachadas, empenas externas e superfícies internas das edificações, desagregando alvenarias, revestimentos e pinturas.
- Água impregnada por absorção nos poros e interstícios dos materiais de construção higroscópicos, como as alvenarias cerâmicas e argamassas contendo argila e materiais orgânicos que podem transformar-se em vapor por conta de ações térmicas externas.
- A percolação da água induz à deterioração dos materiais de construção, pelos ciclos de molhagem e secagem, promovendo fadiga e desagregação dos mesmos.

Água de condensação

- É a que, sob a forma de vapor, ao incidir sobre uma superfície ou paramento, devido à diferença de temperatura em relação à temperatura da superfície da peça, condensa-se na fase líquida.
- Esse fenômeno físico de transformação de fase é muito comum dentro de reservatórios d'água, onde se observam gotas nas superfícies inferiores das lajes de tampa. As gotas carregando íons de Cl^- , aderidas às superfícies por tensão superficial, penetram no concreto, atacando quimicamente os componentes da pasta de cimento endurecida e despassivando as armaduras. Como efeito físico da corrosão do aço, ocorrem fissuras e deslocamentos no concreto.
- Igualmente, a água de condensação pode ocorrer devido ao vapor gerado no interior da edificação em cômodos com ventilação deficiente, havendo deposição de umidade nos revestimentos de tetos, paredes e pisos, com formação de meio úmido propício à formação de culturas de “bolor”.

Águas contendo fungos, “bolor”

- O bolor é uma anomalia que se observa por exame visual, sendo causado pelo desenvolvimento de microorganismos pertencentes ao grupo dos fungos que são considerados vegetais inferiores.
- Os fungos, formadores dos conhecidos emboloramentos, penetram na porosidade dos materiais de construção, favorecendo a proliferação de suas culturas e de bactérias deletérias à saúde dos usuários das edificações.
- As culturas de fungos ou bolor, tendem a desagregar os materiais de construção, como por exemplo, em argamassas e revestimentos, pelo crescimento e expansão vegetal dentro da porosidade dos materiais e pela síntese de enzimas, que atacam quimicamente as substâncias constituintes dos materiais cimentícios.
- Como fator intimamente ligado à proliferação dos fungos nas edificações, estão a presença de água nos estados líquido ou vapor, a umidade relativa do ar elevada, acima de 75%, que são considerados meios propícios ao desenvolvimento de culturas dos vegetais inferiores.

Águas puras, águas de chuva

- O grande poder dissolvente das águas puras, em geral, as torna mais agressivas ao concreto do que as águas impuras contendo teores moderados de substâncias agressivas.
- Particularmente, as águas de chuva possuem grande poder de dissolução, pois contêm CO₂ em teor apreciável, incorporado devido à sua precipitação, podendo estar associado a ácidos existentes em atmosferas poluídas devido a emissões de dióxido e/ou trióxido de enxofre oriundos de processos de combustões de motores industriais.
- As águas quimicamente puras, como a água destilada, água da chuva e água de poços de regiões silicosas, possuem baixo teor de sais dissolvidos e tendem a diluir a cal liberada na hidratação dos silicatos de cálcio oriundos do cimento, aumentando a porosidade de concretos e argamassas.

Águas puras, águas de chuva

- Nesta ação agressiva, são determinantes a velocidade e a quantidade de água atuante. A cal hidratada Ca(OH)_2 dissolvida, ao chegar à superfície do concreto, sofre carbonatação pelo H_2CO_3 (oriundo da reação do vapor d'água da atmosfera com o CO_2), resultando as eflorescências superficiais.
- O efeito físico do processo de deterioração do concreto pelas águas puras, com a formação das eflorescências, acontece pela dissolução e lixiviação do hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 , havendo formação do carbonato de cálcio CaCO_3 após reação com o H_2CO_3 , sendo evidenciado o aparecimento de estalactites e estalagmites.
- O aumento da porosidade da pasta de cimento endurecida facilita a infiltração de água para o interior do concreto armado acelerando o processo de oxidação das barras de aço.
- Resumindo: as águas da chuva, em razão de sua pureza, devem ser consideradas como agentes agressivos nas obras que utilizam argamassas e concretos, especialmente em coberturas e fachadas de edifícios sujeitas à sua ação (Petrucci, 1979, p. 291; Piccoli, 1991; de Souza & Ripper, 1998).

Águas contendo íons cloreto Cl-

- Os íons cloreto são produzidos a partir de soluções aquosas de substâncias que contêm o elemento cloro em suas fórmulas químicas.
- É o caso das águas do interior de reservatórios e cisternas tratadas com os compostos clorados: hipoclorito de sódio (NaClO), hipoclorito de cálcio [Ca(OCl)2H2O], cal clorada (CaOCl2) ou com gás cloro (Cl2).
- Ocorrem também em águas contendo aditivos aceleradores de pega e endurecimento da pasta de cimento (cloreto de cálcio, CaCl2), na água do mar (cloreto de sódio, NaCl e cloreto de magnésio, MgCl2) e nos sais descongelantes (CaCl2 e NaCl). Ao se dissociarem na água, estas substâncias produzem emanações de vapores e líquidos contendo ânions cloretos (Cl-), os quais atacam o concreto e as armaduras.
- Os cloretos são agentes que aceleram a dissolução do hidróxido de cálcio Ca(OH)2 contido na pasta de cimento endurecida, despassivando o meio alcalino e agindo como eletrólito, favorecendo os processos de corrosão eletroquímica dentro de concretos e argamassas que contêm armaduras.

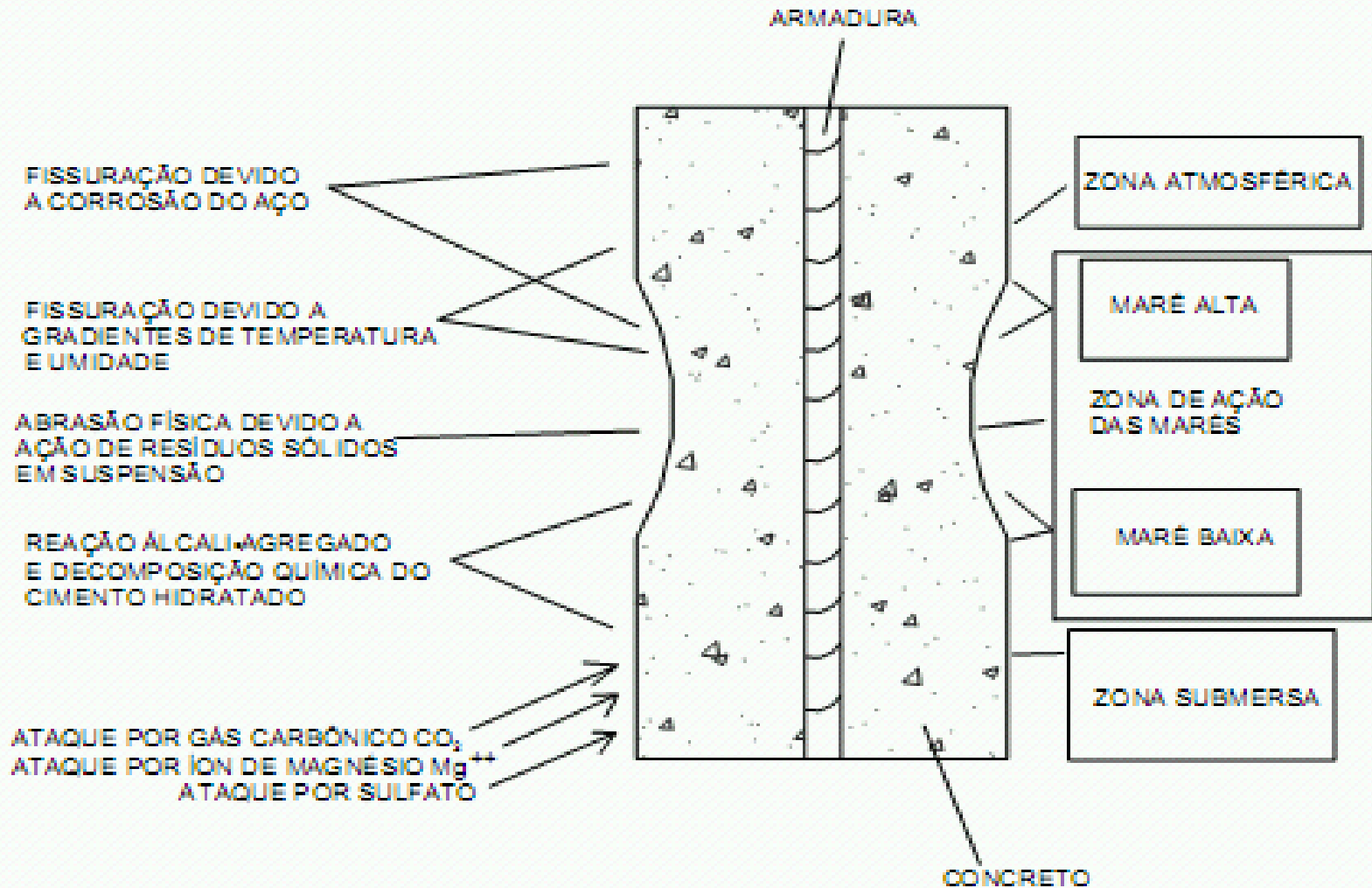
Águas contendo íons cloreto Cl-

- Atua ainda como agente instabilizador da película passivante, hematita (Fe_2O_3), existente sobre as armaduras, expondo-as ao efeito da corrosão química na presença de oxigênio (O_2) e da água (H_2O). O grau de contaminação de concretos por cloretos, detectado por ensaios específicos (potencial elétrico e alcalinidade), é um indicador da existência do estado de corrosão em suas armaduras.
- A água do mar, possui sais dissolvidos, como cloreto de sódio (NaCl) e cloreto de magnésio (MgCl_2), que após hidratação, formam cristais expansivos e eflorescências. Todavia, estes sais, em grande parte, inibem a agressão dos sulfatos, além de serem mais agressivos às armaduras do que ao concreto, pois favorecem a corrosão eletroquímica das mesmas.
- Na água do mar também são encontrados o sulfato de magnésio (MgSO_4), o sulfato de cálcio (CaSO_4) e o sulfato de sódio (Na_2SO_4), substâncias que geram reações expansivas pela formação do sal de Candlot (“bacilo do cimento”), a etringita, após reação com compostos hidratados e aluminatos da pasta de cimento endurecida (Piccoli, op. cit.).

Zonas com variação de marés e incidência de ondas

- Massas de águas, que estão sujeitas a fenômenos ondulatórios e/ou de movimentos de marés, expõem os elementos das construções de concreto a choques e a ciclos de molhagem e secagem, sendo altamente desagregadoras, principalmente no caso das águas dos mares, pois contêm cloretos e sulfatos de sódio e de magnésio.
- A ação dinâmica de águas de marés provoca o desgaste por abrasão, através de resíduos sólidos em suspensão e acelera o ataque químico devido à formação de cristais expansivos e ações de dissolução de compostos hidratados expondo, ainda mais, o concreto a processos de desagregação. O grau das desagregações pode ser maior ou menor, conforme o posicionamento do elemento estrutural, a direção preferencial do vento e a amplitude da variação da maré em relação à superfície d'água.
- Uma ilustração do processo de deterioração do concreto em zona de variação de marés é mostrado na figura seguinte:

Zonas com variação de marés, incidência de ondas



Zonas com variação de marés, incidência de ondas

- Quando o concreto é molhado com frequência pela água do mar, em períodos intercalados com secagem, a água pura se evapora e parte dos sais dissolvidos deposita-se no concreto, principalmente, na forma de sulfatos. Quando molhados novamente, esses sais reidratam e exercem uma força de expansão na pasta que os circunda. Essa deterioração superficial progressiva, conhecida como deterioração por sais, ocorre com temperaturas altas e insolação intensa de modo a provocar secagem rápida nos poros até uma certa profundidade a partir da superfície.
- Assim, as superfícies molhadas intermitentemente, estarão sujeitas à deterioração, ou seja, as superfícies do concreto na linha da maré e na região de respingos (splash).
- Uma forma particular de ataque ao concreto por água do mar em zonas de variações de marés, sob condições de temperaturas elevadas, é produzida pela ação de cracas, um tipo de ostra e também conchas, que se depositam sobre o concreto, ancorando-se em sua porosidade superficial, promovendo ações de desagregação no material, ou seja, ataque biológico (Neville, 97).

Águas subterrâneas, freáticas

- São as águas que se precipitaram sobre a superfície dos solos e, devido à ação da gravidade, se infiltraram e se impregnaram nos interstícios de solos sedimentares e falhas de terrenos rochosos, até um ponto em que tornaram-se confinadas ou movimentam-se sobre camadas impermeáveis do subsolo, formando os depósitos aquíferos subterrâneos.
- Os aquíferos caracterizam-se pela formação de duas faixas, uma faixa dita saturada, contendo poros totalmente cheios d'água e outra cujos vazios contém ar, chamada de faixa insaturada. As duas faixas, por conseguinte, são separadas por uma superfície definida como nível freático ou lençol freático. Em contato direto com águas subterrâneas estão as estruturas de fundações, embasamentos, pavimentos em subsolo ou devido ao fenômeno da ascensão capilar das águas. Logo, torna-se necessária a análise química da água subterrânea para a avaliação da presença de substâncias agressivas ao concreto, com os respectivos teores.
- Concomitantemente, devem ser conhecidas, por meio de investigações de sondagens geotécnicas, as cotas máxima e mínima do lençol freático, além de estudadas as possíveis correntes d'água subterrâneas em suas direções e intensidades.

Águas sulfatadas

- Os sulfatos de cálcio (CaSO_4), de magnésio (MgSO_4), de sódio (NaSO_4), de potássio (KSO_4) e o sulfato de amônia [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_2$] existentes em vapores dentro das galerias, contendo águas de esgotos domésticos, industriais e águas lodosas do subsolo, causam deterioração pela formação de produtos expansivos no interior da massa de concretos e argamassas como a formação do “sal de Candlot” e etringita secundária, após reação com compostos hidratados e aluminatos da pasta de cimento endurecida.
- Entre as águas sulfatadas, as mais importantes são as selenitosas que contêm sulfato de cálcio. Esse sal reage com o aluminato tricálcico hidratado formando um sulfoaluminato tricálcico hidratado (etringita secundária), conforme a equação: $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O} + 3(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + 13 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32 \text{H}_2\text{O}$
- A formação dessa substância salina, “sal de Candlot”, realizando-se em presença de cal dissolvida na água, não estando o aluminato dissolvido, origina nos poros uma quantidade de sulfoaluminato maior do que podem eles conter, provocando expansão e, como conseqüência, desagregação da massa.

Águas sulfatadas

- Por outro lado, se a etringita secundária é formada a partir da alumina dissolvida e não havendo cal hidratada, a cristalização do sal não ocupa volume superior ao dos 3 componentes, água-aluminato-sulfato e a massa se torna mais compacta pelo preenchimento dos poros da matriz cimento.
- O primeiro caso é o do cimento Portland comum, o qual libera cal hidratada (hidróxido de cálcio) por ocasião da hidratação dos silicatos bicálcico e tricálcico. O segundo caso está relacionado à hidratação do cimento metalúrgico sulfatado, que tem sua resistência aos esforços mecânicos baseada na formação do “sal de Candlot”.
- As águas que contêm sulfato de magnésio são muito agressivas, pois esse sal é, entre os sulfatos, o de mais alto poder de reação. O sulfato de magnésio reage com o silicato de cálcio hidratado (C-H-S) formando o sulfato de cálcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ou $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), brucita $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ e sílica (SiO_2), conforme a equação: $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{aq.} + \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2 \cdot \text{aq}$
- A quantidade máxima admissível de sulfato na água é de 300 mg/litro.

Águas contendo ácidos

- Os ácidos minerais, como o sulfúrico e o clorídrico são muito fortes e possuem pH (que representa a concentração de íons hidrogênio) abaixo de 6, produzindo ataque ao concreto por dissolução dos compostos cimentícios e até mesmo de certos tipos de agregados carbonáticos (Biczók, 1978).
- A atmosfera poluída e ácida, devido a combustão de carvões e petróleo para obtenção de energia, provoca a formação de dióxido e trióxido de enxofre (SO_2 e SO_3), os quais em contato com a água (na forma líquida ou de vapor) reagem e formam vapores de ácido sulfúrico H_2SO_4 , resultando nas chuvas ácidas.
- Ao incidir sobre o concreto e argamassas cimentícias das construções as águas de chuvas ácidas provocam dissoluções e despassivação das armaduras facilitando a corrosão das mesmas.

Águas contendo íons amônia NH_4^+ e magnésio Mg^{++}

- Sais de magnésio e de nitrogênio, em solução aquosa, contendo os radicais cátions bivalentes de magnésio (Mg^{++}) e cátions monovalentes de amônia (NH_4^+), provocam a descalcificação do concreto pela lixiviação do hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Os sais de magnésio atacam o concreto, produzindo um tipo de reação por substituição do cálcio da cal hidratada $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, formando o hidróxido de magnésio [brucita, $\text{Mg}(\text{OH})_2$] na forma de gel que envolve os grãos dos agregados.
- No caso do sulfato de magnésio (MgSO_4), ele induz a formação de gesso secundário e de etringita secundária (produtos expansivos).
- O cloreto de magnésio dá origem ao cloreto de cálcio (Ca Cl_2 , sal de Friedel), indutor de despassivação do meio alcalino do concreto.
- Os sais de amônia sofrem decomposição pelo hidróxido de cálcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, formando o amoníaco e um radical ácido, que, por sua vez, se combinam com outras substâncias contidas na pasta cimentícia em reações de dissolução da massa de concreto (Biczók, 1978).

Águas alcalinas

- As águas de ação alcalina são, em geral, as águas subterrâneas e comuns em rochas, terrenos ou regiões de solos sedimentares. Da mesma forma, podem ser encontradas águas intensamente alcalinas em terrenos de formação granítica ou porfídica. O pH de águas subterrâneas alcalinas varia entre de 8 e 10. As soluções alcalinas sódicas ou potássicas encontradas em terrenos ou em águas subterrâneas são oriundas de sais solúveis. São citados a seguir alguns sais sódicos que podem ser encontrados em solos: NaCl, Na₂CO₃, NaOH, NaHCO₃, NaNO₃, Na₂SO₄, Na₃AlO₃, NaSiO₃.
- São dois os principais processos de deterioração que podem sofrer os concretos devido a águas e soluções alcalinas. Um primeiro é devido à dissolução química por reação de troca iônica com os componentes da pasta de cimento endurecida, o outro processo é devido à cristalização dos produtos alcalinos em solução aquosa nos poros da pasta endurecida, isto é, uma deterioração por expansão. As deteriorações podem ocorrer em casos de utilização de cimentos do tipo aluminoso, sendo raras nos casos de utilização de cimentos comum devido à sua maior resistência às ações de hidróxidos alcalinos NaOH e KOH e seus ânions hidroxilas (OH) --

Águas ferruginosas

- Em águas de solos ricas em ferro ocorre a presença de bactérias do tipo ferruginosas que penetram vários centímetros no concreto, liberando ferrugem na forma de hidróxido férrico Fe(OH)_3 , propiciando a corrosão das armaduras dentro do concreto. Essas águas podem acessar estruturas subterrâneas e aquelas referentes a reservatórios para tratamentos de desferrização, acumulação e distribuição d'água.
- As funções vitais das bactérias ferruginosas podem ser caracterizadas pela seguinte equação química:
$$4 \text{FeCO}_3 + \text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{Fe(OH)}_2 + 4\text{CO}_2 + 58 \text{ cal}$$
- Entre as superfícies de concreto e as bactérias, pela ação do ácido carbônico resultante de suas funções vitais, ocorre a desagregação do concreto associada à lixiviação pela ação da água infiltrante.
- A eliminação da anomalia compreende a destruição das colônias de bactérias ferruginosas, desinfecção do concreto e injeções junto às interfaces estrutura/solo (Biczók, 1978).

Águas de esgotos residuais industriais e domésticos

- Em águas de esgotos domésticos/industriais, águas de estações de tratamento de esgotos (ETE) e águas de solos, as bactérias anaeróbicas, durante seu metabolismo, desprendem ácido sulfídrico (H_2S), o qual, digerido por bactérias aeróbicas, sintetizam o ácido sulfúrico (H_2SO_4), provocando o ataque agressivo às estruturas em concreto das galerias de esgotos (Piccoli, 1991).
- Existe a possibilidade de estruturas subterrâneas de edificações e construções serem atingidas por essas águas a partir de falhas em instalações seguida de contaminação do solo de fundações (Biczók, 1978)
- As águas de solos pantanosos, assim como solos ricos em húmus, são agressivas ao concreto quando possuem poucas substâncias dissolvidas ou quando possuem substâncias deletérias em altos teores, tais como ácidos húmicos (classificados como ácidos orgânicos), sulfatos e CO_2 .
- As águas pantanosas ocasionam dissolução dos compostos cálcicos da pasta de cimento endurecida. No caso da pasta de cimento fresca, as águas pantanosas retardam as reações de pega e endurecimento, se utilizadas como água para amassamento ou se oriunda de mistura com agregados contendo húmus.

Águas betuminosas ou contendo ácido úrico

- Substâncias betuminosas, desde que não contenham detergentes, não agredem os concretos e argamassas. Ao contrário, podem propiciar a imprimação, seguida de colmatação da porosidade superficial de concretos e argamassas;
- Podem também formar películas protetoras contra a penetração de líquidos, vapores e gases agressivos, promovendo um tratamento impermeabilizante das estruturas.
- A urina humana contém substâncias capazes de gerar ações desagregadoras ao concreto, aço e argamassas. Uma dessas substâncias deletérias é o cloreto de amônia (ClNH_4), o qual ataca duplamente o concreto armado, desagregando quimicamente a pasta de cimento, enfraquecendo o concreto, despassivando a armadura e atuando como eletrólito facilitador do fenômeno da corrosão eletroquímica em armaduras.

Águas de fontes minerais, tensão superficial e gotas d'água

- As águas minerais provocam desagregação lenta do concreto e são mais danosas na medida em que sejam mais ácidas.
- As águas de mananciais montanhosos são pobres em materiais dissolvidos e apresentam grandes quantidades de ácido carbônico, o qual possui alto poder de dissolução do hidróxido de cálcio existente na pasta de cimento endurecida (Biczók, 1978).
- A tensão superficial é uma propriedade segundo a qual uma superfície líquida ou uma gota se comporta de forma elástica. Esta propriedade ocorre com todos os líquidos e é observada com maior intensidade na água.
- As moléculas no interior do líquido mantêm-se unidas pelas forças de atração, que ocorrem em todas as direções. As moléculas da superfície, no entanto, sofrem apenas atração lateral e interior, que geram a tensão superficial, criando uma película elástica. Quanto mais intensas as forças de atração, maior será a tensão superficial.

Águas para amassamentos de concretos e argamassas

- Podem ser causadoras de anomalias, na medida em que contenham substâncias dissolvidas que influam nas reações de hidratação do cimento e nas propriedades no estados fresco e endurecido, tais como:
- Águas contendo açúcares (hidratos de carbono) são capazes de retardar as reações de hidratação, protelando os tempos de início e fim de pega das pastas cimentícias. Em casos extremos podem impedir a pega;
- Partículas dissolvidas nas águas de amassamento como Íons cloreto (Cl^-), amônia (NH_4^+), sulfeto (S^{--}) e nitrato (NO_3^-), podem causar efeitos como corrosão das armaduras. Já íons magnésio (Mg^{++}) e sulfato (SO_4^{--}) causam deterioração do concreto;
- Águas de amassamento que contenham substâncias dissolvidas como argila e silte, em teores elevados, podem impedir as reações de cristalização da pasta de cimento, caracterizando perda da propriedade de coesão da mesma;
- Emprego de água do mar contendo em média 3,5% de NaCl e MgSO_4 , pode restritamente ser utilizado em concretos não armados, sob o risco de obtenção de resistência à compressão mais baixa e do aparecimento de eflorescências e desagregações da massa.

Análises dos índices de agressividade das águas

- Para levantar a possibilidade da agressividade das águas a análise química deve conter os seguintes parâmetros:
- resíduo evaporável; pH; dureza, dureza total; teores de CaO, CO₂ (total e CO₂ dissolvente da cal); teores de íons sulfato (SO₄⁻⁻), magnésio (Mg⁺⁺), cloreto (Cl⁻⁻), amônia (NH₄⁺), sulfeto (S⁻⁻) e nitrato (NO₃⁻⁻); consumo de permanganato de potássio (KMnO₄) e características externas de odor, tonalidade, desprendimento de bolhas, sais depositados e evidências de reações ácidas ou alcalinas.
- Valores de pH, CO₂ total e CO₂ combinado com cal na forma de ácido carbônico, após combinação com a água, sulfatos, magnésio, cloreto e amônia, eles são necessários para comparação com os teores das substâncias agressivas, conforme indicações de diversas normatizações e laboratórios especializados em análise química de águas. A dureza total permite o reconhecimento de águas muito puras causadoras de lixiviações.
- O teor de cloretos informa sobre a possibilidade de diminuição da ação dos sulfatos e potencialidade de processos de corrosão das armaduras.

Análises dos índices de agressividade das águas

- Por meio do permanganato de potássio consumido, assim como do odor da água, pode-se obter a quantidade de matéria orgânica, assim como a presença de elementos gasosos como H₂S (ácido sulfídrico) e o SO₂ (dióxido de enxofre). No caso de águas residuais, domésticas ou industriais, a análise química deve ser ainda mais minuciosa (BICZÓK, 1978).
- Indicações constantes na Tabela 3.1, extraída da norma alemã DIN 4030 classificam a agressividade das águas de acordo com os seus conteúdos de agentes nocivos ao concreto, referidas a valores de pressão atmosférica de 1 atm, na temperatura de 20°C.
- Os fatores que podem influir nos índices de agressividade das águas são: temperatura, ação mecânica e grau de renovação das águas. Quanto maior a temperatura, maior o índice de agressividade; quanto maior for a ação mecânica das águas agressivas, maior será a exposição deterioração e quanto maior o índice de renovação das águas agressivas, maior a ação desagregadora nos concretos e argamassas cimentícias.

Análises dos índices de agressividade das águas

Tabela 3.1 - Agressividade da água (DIN 4030 apud CÁNOVAS, 1988)

Índice de Agressividade	pH	NH ₄ ⁺ mg/litro	Mg ⁺⁺ mg/litro	SO ₄ ^{"" ""} mg/litro
Fraco	6,5 - 5,5	15 - 30	100 - 300	200 - 600 (água) / 2000 - 5000 (solo)
Forte	5,5 - 4,5	30 - 60	300 - 1500	600-3000
Muito Forte	4,5	60	1500	5000

Sistemas protetores contra as agressões ao concreto

- A proteção do concreto contra a penetração de águas e agentes agressivos inicia-se com a elaboração de um criterioso projeto de dosagem que contemple aspectos de análise do meio de exposição, agentes agressivos e seus teores, temperatura média das soluções agressivas, tipo e composição química do cimento, análise e escolha dos aditivos, relação A/C, análise das características dos agregados, elaboração de plano de concretagem com procedimentos adequados de transporte, lançamento, adensamento e cura, projeto de fôrmas e escoramentos/re-escoramentos/desfôrmas e compacidade do concreto endurecido, entre outros.
- Medidas passivas, como o emprego de sistemas de drenagem e de películas protetoras e revestimentos do tipo membranas ou mantas impermeáveis que impeçam a penetração das águas agressivas no concreto também são desejáveis. Os drenos formados por tubos e/ou geossintéticos dos tipos geotêxteis ou geocompostos, instalados junto às fundações de edificações e construções podem conseguir manter seco o terreno em contato com o concreto, impedindo ou reduzindo o ataque de águas agressivas existentes no solo de fundações.

Sistemas protetores contra as agressões ao concreto

- A proteção do concreto contra a penetração de águas e agentes agressivos inicia-se com a elaboração de um criterioso projeto de dosagem que contemple aspectos de análise do meio de exposição, agentes agressivos e seus teores, temperatura média das soluções agressivas, tipo e composição química do cimento, análise e escolha dos aditivos, relação A/C, análise das características dos agregados, elaboração de plano de concretagem com procedimentos adequados de transporte, lançamento, adensamento e cura, projeto de fôrmas e escoramentos/re-escoramentos/desfôrmas e compacidade do concreto endurecido, entre outros.
- Medidas passivas, como o emprego de sistemas de drenagem e de películas protetoras e revestimentos do tipo membranas ou mantas impermeáveis que impeçam a penetração das águas agressivas no concreto também são desejáveis. Os drenos formados por tubos e/ou geossintéticos dos tipos geotêxteis ou geocompostos, instalados junto às fundações de edificações e construções podem conseguir manter seco o terreno em contato com o concreto, impedindo ou reduzindo o ataque de águas agressivas existentes no solo de fundações.

- Agressividade do meio ao concreto; indicações da norma alemã TGL 11357 (versão em espanhol: "El hormigon en las aguas agresivas")
 e BICZÓC (1978), citada por PINI (1988) e adotada pela CETESB como norma Cetesb/L1007 - "Agressividade do meio ao concreto/classificação"

Agressividade da água em função da quantidade de matérias dissolvidas (Norma Cetesb/L1.007-1978)

Reações	Fenômeno preponderante de lixiviação, incluindo hidrólise dos compostos de cálcio do concreto				Fenômenos preponderantes acompanhados de lixiviação							Transformação química, expansão acompanhada de lixiviação com formação preponderante de		
					Ação ácida, processos de intercâmbio			Processo de intercâmbio, ação ácida				Etringita e gesso secundários		Ge...
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Agressividade da água	Sólidos dissolvidos, resíduo não evaporável		Em presença simultânea de CO ₂ agressivo ou que modifique o pH	Teor de cálcio Ca ⁺⁺ (*)	pH	Ácido carbônico agressivo		Magnésio Mg ⁺⁺	Amônia NH ₄ ⁺		Sulfetos S ⁻⁻⁻	Sulfatos SO ₄ ⁻⁻⁻ em presença simultânea		
	da água filtrada					CO ₂ agressivo	Dureza Ca ⁺⁺ (**)		Para NO ₃ ⁻ < 150 mg/l	Para NO ₃ ⁻ > 150 mg/l		Mg ⁺⁺ < 100 mg/l	NH ₄ ⁺ < 100 mg/l	NH ₄ ⁺
			para											
	(mg/l)		pH	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
Nula	> 150	-	-	> 100	> 6	< 10	> 14	< 100	< 100	< 50	< 1	< 200	< 250	< 300
Frac	50 a 150	0 a 5	≥ 6	50 a 100	5,5 a 6	< 10	1,4 a 14	100 a 150	100 a 150	50 a 100	1 a 10	200 a 350	250 a 400	300 a 450
						10 a 40	> 14							
Média	50 a 150	> 5	< 6	< 50	5 a 5,5	< 10	< 1,4	150 a 250	150 a 250	100 a 150	> 10	360 a 800	400 a 700	450 a 750
						10 a 40	1,4 a 14							
						40 a 90	> 14							
Forte	< 50	0 a 5	> 5,5	-	4 a 5	10 a 40	< 14	250 a 500	150 a 250	150 a 250	-	600 a 1200	700 a 1500	800 a 1600
						40 a 90	> 14							
						> 90	todas							
Muito forte	< 50	> 5	< 5,5	-	3 a 4	-	-	> 500	> 500	> 250	-	> 1200	> 1500	> 1800

(*) Na tabela original da Norma TGL 11357 estes valores acham-se expressos em óxido de cálcio (Ca⁺⁺ / 0,7 = CaO)

Na tabela original estes resultados referem-se à dureza temporária, expressa graus alemães de dureza (° dH), cuja equivalência é dada por: 1° dH = 7 m/l Ca⁺⁺

Sistemas protetores contra agressões às armaduras

- A proteção será tanto maior quanto mais rico em cal for o cimento, e quanto maior for a espessura de cobrimento do concreto sobre as barras de aço. Um concreto dosado criteriosamente que garanta ao mesmo tempo um meio protegido quimicamente, de natureza alcalina e uma proteção física através de uma massa endurecida compacta e de baixa permeabilidade, estará menos suscetível à exposição de suas armadura ao fenômeno da corrosão. Todavia, na maioria dos casos, torna-se necessário lançar mão de processos protetores adicionais diretamente sobre o aço, como por exemplo as proteções catódicas, a galvanização e a aplicação de resinas sintéticas, ou utilizando outros produtos aplicados na massa do concreto, tais como aditivos inibidores de corrosão e aqueles aplicados nas superfícies da peça de concreto, como os sistemas de impermeabilização por encapamento, que utilizam produtos de base sintética ou de base asfáltica (Cánovas, 1988).
- Os sistemas de impermeabilização por encapamento das estruturas de concreto estabelecem uma barreira protetora que impede a passagem da água, de vapores, do oxigênio, do CO₂ e dos sais agressivos ao concreto e, por conseguinte, às armaduras.

Penetração das águas nas edificações

- A penetração e percolação dos diversos tipos de águas nas edificações são favorecidas, principalmente, pelos índices de fissuração, porosidade, permeabilidade, aberturas de vãos, juntas frias de concretagem, juntas estruturais, juntas de construção entre pré-moldados, higroscopia, interfaces entre elementos das construções, rupturas nas instalações hidráulicas, sanitárias, águas pluviais, entre outros fatores relacionados aos materiais e elementos constituintes das construções.
- Pode-se considerar que as infiltrações de águas nas construções são incidências patológicas ocasionadas por falhas de estanqueidade e/ou pela inexistência de tratamentos de impermeabilização sobre seus elementos constituintes e têm suas causas durante as fases de concepção, execução e utilização das edificações.
- Por conseguinte, através das falhas e inexistências das impermeabilizações, as águas, em suas mais diversas formas, contendo ou não outras substâncias dissolvidas, incidem e percolam nos diversos elementos das edificações, disseminando uma série de manifestações patológicas.

Drenagem das águas em edificações

- A NBR 6118/03 preceitua que em seus sistemas de drenagem sejam evitados as presenças ou acúmulos de águas oriundas de chuvas ou provenientes de limpeza e lavagem sobre as superfícies em concreto.
- As superfícies expostas que necessitem ser horizontais, tais como coberturas, pátios, garagens, estacionamentos e outras, devem ser criteriosamente drenadas, com a instalação de ralos e condutores.
- Todas as juntas de movimento ou de dilatação, em superfícies sujeitas à ação d'água, devem ser cuidadosamente seladas, de forma a garantir a estanqueidade à percolação de água.
- Todos os topos de platibandas e paredes devem ter proteção por chapins.
- Todos os beirais devem possuir pingadeiras e as interfaces de diferentes níveis devem ser protegidas por rufos que impeçam a penetração das águas.
- Deve-se prever dispositivos que garantam acessos para vistorias e manutenção às partes que possuam vida útil inferior ao todo, como no caso de caixões, aparelhos de apoio e as próprias impermeabilizações.

Causas devidas às estruturas porosas dos materiais

- Os materiais de construção, através de suas micro-estruturas porosas, permitem a percolação de águas e outros agentes agressivos, sob as formas líquidas e gasosas. Quanto mais poroso for o material e quanto mais agressiva for a substância penetrante e percolante, maior será o grau de deterioração do elemento de construção.
- Para ilustrar o fato é apresentada afirmação de Mehta: “A impermeabilidade do concreto deve ser a primeira linha do sistema de defesa contra qualquer processo físico-químico de deterioração”.
- O acesso e transporte das águas e outros agentes agressivos através da porosidade e falhas nos elementos das construções de concreto se dá por processos de difusão, capilaridade ou por penetração direta. A difusão no concreto é o mecanismo de transporte de gases, águas e agentes agressivos diluídos no ar. No processo da capilaridade, a penetração ocorre através de canalículos de diâmetro reduzido (10^{-7} a 10^{-5} m) que ficam saturados por água aderida aos condutos (adsorção). O caso da penetração direta acontece sob condições de imersão e/ou sob pressão hidrostática.

Transporte de fluidos no concreto, permeabilidade e porosidade

- A permeabilidade é determinante para a durabilidade das estruturas de concreto, assim como dos materiais de construção em geral. À exceção da deterioração mecânica, todos os processos de degradação do concreto são decorrentes do transporte de fluidos através do mesmo.
- Os principais fluidos que podem penetrar nas estruturas de concreto são a água (pura ou contendo íons agressivos), o dióxido de carbono (CO_2) e o oxigênio, estando os mesmos diretamente relacionados à durabilidade das estruturas.
- Entende-se por permeabilidade a facilidade com a qual os fluidos (líquidos, gases ou vapores) podem ingressar e se deslocar no interior do concreto e de outros materiais de construção, estando esta característica intimamente ligada à durabilidade.
- A permeabilidade propriamente dita se refere a escoamentos sob diferenciais de pressão.
- A difusão é caracterizada pelo deslocamento de um fluido por efeito de um diferencial de concentração e está correlacionada à propriedade do concreto denominada de difusibilidade.

Transporte de fluidos no concreto, permeabilidade e porosidade

- A adsorção (ou absorção capilar) é resultante de movimentos capilares através dos poros do concreto abertos para o meio externo que o envolve.
- Como definição de porosidade, pode-se dizer que é a medida da proporção de volume total do concreto ocupado por poros e, em geral, é expressa na forma de percentagem. Se o índice de porosidade for alto e os poros possuírem interconexões, os mesmos facilitam o deslocamento dos fluidos através do concreto, de tal forma que a permeabilidade, igualmente, será alta. Contudo, no caso dos poros serem descontínuos ou se oferecem resistência para o deslocamento de fluidos, a permeabilidade do concreto será baixa, mesmo com uma porosidade alta. Os poros relevantes para a característica de permeabilidade são os que possuem diâmetro entre 120 nm e 160 nm (NEVILLE, 1997).
- A absorção simples representa o volume dos poros da massa de concreto que se comunicam com o meio externo. De forma geral determina-se a absorção simples secando-se um corpo de prova até que ocorra constância de massa, seguido de imersão na água, obtendo-se o incremento de massa como percentual da massa seca.

Permeabilidade do concreto à água

- Em pastas de cimento Portland com relações A/C acima de 0,4, após o endurecimento, apresentam coeficientes de permeabilidade são significativamente altos, porque acima da relação A/C = 0,4, os poros capilares começam a se comunicar (a se segmentar).
- A permeabilidade, representada pelo coeficiente de permeabilidade de um determinado concreto, decresce com a relação A/C, quanto melhores forem os procedimentos de adensamento expulsando o ar aprisionado na massa, quanto melhores forem os procedimentos de cura, quanto maior for a evolução das reações de hidratação e quanto maior for a finura do cimento utilizado no traço.
- O valor de profundidade de penetração à água pode ser utilizado como um índice para avaliação qualitativa de concretos, isto é, uma profundidade de penetração menor que 50 mm, pode classificar um concreto como de “baixa permeabilidade”, enquanto uma profundidade de penetração menor que 30 mm indica um concreto de “baixa permeabilidade sob ações de agentes agressivos” .

Permeabilidade do concreto ao ar e ao vapor

- A permeabilidade do concreto ao ar é substancialmente influenciada pelos procedimentos de cura, ou seja, quanto mais eficientes forem os procedimentos de cura, menor será o índice de permeabilidade de uma peça de concreto ao ar, principalmente no caso de concretos com menores resistências à compressão.
- Outro fator que influencia a permeabilidade ao ar, gases e vapores, é o teor de umidade contida no concreto. Quanto menor o grau de umidade maior será o coeficiente de permeabilidade do concreto. aos gases.
Analogamente à permeabilidade dos concretos às águas, considerando agora estruturas em concretos elaborados para a obtenção de baixos coeficientes de permeabilidade ao ar, gases e vapores, são necessários procedimentos complementares de impermeabilização por envolvimento das estruturas para garantir a perfeita estanqueidade e proteção em meios agressivos e deteriorantes

Permeabilidade em argamassas

- Permeabilidade das argamassas pode ser definida como a maior ou menor facilidade à passagem de água através dos seus vazios. Está intimamente condicionada a estanqueidade da edificação em relação à água. Trata-se da propriedade ligada à percolação de água através da argamassa endurecida sob as formas de infiltração sob pressão, capilaridade ou difusão de vapor de água.
- A velocidade de secagem de uma argamassa, após um período de molhagem, depende da permeabilidade da mesma ao vapor de água, condicionando a sua capacidade protetora em relação à base de assentamento. A granulometria e o tipo dos agregados, a natureza e o teor do aglomerante e adições são fatores que influenciam a permeabilidade das argamassas.
- Argamassas de cimento e areia com adições (aerantes e polímeros plastoméricos ou elastoméricos) são menos permeáveis. O grau de permeabilidade diminui à medida que evoluem as reações de hidratação do cimento na argamassa. Quanto maior for a relação água/cimento maior a permeabilidade da argamassa cimentícia.

Permeabilidade em argamassas

- Na prática, para a avaliação da permeabilidade das argamassas, referida àquelas utilizadas em revestimentos externos de edificações, é normalmente utilizado o seu índice de absorção de água capilar, que deve ser inferior à absorção do substrato, de forma a promover uma proteção contra a penetração e percolação de águas incidentes. A penetração de água de chuva através do revestimento externo de edifícios compostos por argamassas, em geral, se dá por absorção capilar, em particular, através das micro-fissuras existentes na argamassa. Quando existem aberturas maiores (> 5 mm), a água tende a não penetrar por absorção e sim em função da própria energia cinética através da fenda (Cincotto, 1995).
- A medição dos índices de permeabilidade às águas pode ser feita por meio de ensaios como os preconizados pelo RILEM (método MR-10, 1982) e pelo CSTB (Cahier 1779, Livtraison 230, 1982). Já a caracterização dos graus de permeabilidade ao vapor d'água indica-se a metodologia proposta pela DIN 52615 (1987) (ibid).

Manifestações patológicas no concreto versus causas principais

Manifestação patológica no concreto	Causa principal
Infiltrações d'água	Permeabilidade / fissuras / porosidade
Infiltrações d'água	Inexistência / falha na impermeabilização
Desagregação	Permeabilidade / agentes agressivos
Eflorescências	Infiltrações d'água e agentes agressivos
Carbonatação	Permeabilidade / fissuras / CO ₂
Descolorações	Fungos / poluição atmosférica
Infiltrações d'água na cobertura	Falhas em telhados / alvenarias da cobertura
Infiltrações d'água no revestimento	Argamassa higroscópica
Umidade capilar no embasamento	Argamassa higroscópica / umidade solo
Desagregação das alvenarias	Porosidade / infiltração d'água
Desagregação dos revestimentos	Argamassa higroscópica / infiltração d'água
Desagregação das pinturas	Argamassa higroscópica / infiltração d'água

Manifestações patológicas no concreto versus causas principais

Afundamento de pisos térreos	Solapamento aterro / solo úmido / infiltrações
Desagregação pisos / revestimentos	Vegetação e raízes
Eflorescências em materiais	Infiltrações d' água / higroscopia / sais solúveis
Bolor em pisos / revestimentos	Umidade / pouca ventilação e insolação / poros
Apodrecimento madeira / assoalho	Umidade e infiltrações de água / vetores
Apodrecimento madeira / cobertura	Umidade e infiltrações de água / vetores
Danos em esquadrias de madeira	Umidade e infiltrações de água / vetores
Vazamentos instalação hidráulica	Aparelhos / conexões / corrosão / sobrepressão
Vazamentos instalações sanitárias	Conexões / infiltrações caixas de esgoto
Vazamentos em instalações drenos	Conexões / obstrução / sobrepressão

Manchas

- Manchas escuras provenientes de mofo: São manchas que aparecem normalmente sobre a superfície, e por se tratar de um grupo de seres vivos se proliferam em condições de clima favoráveis, como em ambientes úmidos, mal ventilados ou mal iluminados. Para corrigir, recomenda-se:
Lavar toda a área afetada com escova de nylon ou pano e uma solução de água e hipoclorito de sódio (cloro) na proporção de 1:1, esta solução pode ser substituída por água sanitária; Deixar a solução agir por aproximadamente 15 minutos; Lavar com água afim de eliminar vestígios de cloro; Deixar secar e repintar.
- Manchas e retardamento na secagem da madeira: Podem ocorrer quando a repintura foi feita sobre madeira com resíduos de soda cáustica, que foi utilizada na remoção da pintura anterior. Para prevenir este problema, antes de repintar, deve-se eliminar por completo qualquer resíduo de soda cáustica (ou similar), lavando a superfície com bastante água. Aguarde a secagem e repinte. Se o problema já existir, remova a pintura e siga as mesmas instruções acima. Os defeitos em questão também podem ser causados pela migração de ácidos orgânicos ou resinas naturais, características de certos tipos de madeira.

Manchas

- Manchas e retardamento na secagem da madeira: Tais manchas ocorrem quando se trata de pingos isolados, em paredes recém pintadas. Os pingos isolados, ao molharem a pintura, trazem à superfície os materiais solúveis da tinta, surgindo as manchas. Entretanto, se cair realmente uma chuva e não apenas pingos isolados, não haverá manchas. Para eliminá-las, basta lavar a superfície com água, sem esfregar.

Crateras

- Este problema ocorre devido à presença de óleo, graxa ou água na superfície a ser pintada, e também quando a tinta é diluída com materiais não recomendados como gasolina e querosene. Para corrigir, recomenda-se remover toda a tinta aplicada através de espátula e/ou escova de aço e removedor apropriado, seguido por limpar toda a superfície com solvente, afim de eliminar vestígios de removedor. Deixar secar e pintar.

Desagregamento

- Caracteriza-se pela destruição da pintura, que se esfarela, destacando-se da superfície juntamente com partes do reboco. Este problema ocorre quando a tinta foi aplicada antes que o reboco estivesse curado. Portanto, antes de pintar um reboco novo, deve-se aguardar cerca de 28 dias para que o mesmo esteja curado. Para corrigir o desagregamento, deve-se raspar as partes soltas, corrigir as imperfeições profundas com reboco e aplicar uma demão de fundo preparador de paredes à base d'água e aplicar acabamento.

Eflorescências

- São manchas esbranquiçadas que surgem na superfície pintada. Isto acontece quando a tinta foi aplicada sobre o reboco úmido. A secagem do reboco dá-se pela eliminação de água sob a forma de vapor, que arrasta materiais alcalinos solúveis do interior para a superfície pintada, onde se deposita, causando a mancha. A eflorescência pode acontecer, também, em superfícies de cimento-amianto, concreto, tijolo, entre outros. Para evitar esse inconveniente, basta que se tenha o cuidado de aguardar a secagem de superfície antes de aplicar a tinta. Para corrigir a eflorescência, deve-se aguardar a secagem da superfície, eliminar eventuais infiltrações, aplicar uma demão de fundo preparador de paredes à base d'água e aplicar acabamento. Havendo vazamentos ou infiltrações de água, o fenômeno da eflorescência pode ocorrer mesmo após a cura completa do reboco.

Manutenção em edificações

- Originalmente os conceitos de manutenção em edificações relacionavam-se com a manutenção do tipo corretiva, segundo a qual tentava-se corrigir falhas que ocorriam em seus elementos constituintes.
- Em seguida, foi desenvolvido o conceito de manutenção preventiva, que preconizava o controle das atividades de inspeção, conservação e recuperação, executadas com a finalidade de prever, detectar ou corrigir defeitos, de modo a evitar o surgimento de anomalias nas edificações.
- Depois foi criado o conceito de engenharia de manutenção, que objetiva a busca, controle de operação e a gestão da manutenção predial segundo uma abordagem mais ampla envolvendo as engenharias em suas diversas vertentes (civil, elétrica, mecânica, eletrônica e sistemas, segurança e riscos ou de falhas, econômica e financeira, e de processos).
- A partir do final da década de 60, a chamada engenharia de manutenção predial passou a desenvolver procedimentos para previsão de falhas com o objetivo de balizar e dar subsídios confiáveis aos trabalhos das equipes de manutenção das edificações. Esses critérios deram suporte ao início da concepção de manutenção preditiva (Araújo, J. A.; Vasconcellos C., 1997).

Ensaio nas áreas impermeabilizadas

- Sobre as áreas impermeabilizadas devem ser procedidos ensaios hidráulicos, referindo-se a obras novas ou no caso de suspeitas de falhas de estanqueidade, como prescreve a NBR 9575 (1998). O ensaio hidráulico consiste na aplicação de lâmina d'água sobre as áreas a serem testadas em período de pelo menos 72 horas, para a verificação da existência de infiltrações causadas por falhas de estanqueidade nas impermeabilizações.
- Segundo Ussan (1995), o ensaio hidráulico sobre as áreas impermeabilizadas deve ser realizado seqüencialmente nas tubulações sanitárias ou AP, ralos e caixas coletoras, pisos e paramentos verticais (com jatos d'água) e os dados observados durante o mesmo devem ser anotados em livro-diário sendo, em seguida, avaliados. Caso chova durante a execução do ensaio de estanqueidade, o mesmo deve ser refeito.
- Existem equipamentos capazes de indicar falhas em mantas e membranas impermeabilizantes, por meio do fechamento de arco voltaico, chamados de “detectores de furos e falhas”, os quais podem ser utilizados sobre os encapamentos impermeabilizantes para comprovação de estanqueidade, além do ensaio hidráulico.

Recuperação e impermeabilização de reservatórios d'água

- Os reservatórios d'água superiores e inferiores, geralmente construídos em concreto armado, são responsáveis pelo acúmulo e abastecimento de água para as edificações.
- As manifestações patológicas em caixas d'água de concreto armado em edificações são rotineiras, sendo evidenciadas como desagregações, deslocamentos, carbonatações, eflorescências, descolorações, corrosão das armaduras e fissuras.
- Entre as principais causas das manifestações patológicas podem ser mencionadas as infiltrações de águas pelas juntas de concretagem, fissuras, porosidade e permeabilidade do concreto, aliado a fatores como inexistência ou falha de sistemas protetores, todas permitindo a percolação de água e de outros agentes deteriorantes, tais como cloretos, dióxido de carbono e sulfatos, através da estrutura dos reservatórios.
- Conseqüentemente, também são comuns as intervenções de recuperação e impermeabilização das estruturas em concreto armado de reservatórios, tanto superiores quanto inferiores, em edificações.

Recuperação e impermeabilização de reservatórios d'água superiores

- Os reservatórios superiores posicionam-se no topo das edificações, junto a áreas de coberturas e recebem fluxo a partir de reservatórios inferiores ou diretamente de redes de abastecimento, para acúmulo de água e sua distribuição por gravidade através de tubulações de colunas e ramais hidráulicos.
- Em geral, experimentam deformações térmicas acentuadas devido à insolação, assim como variações dimensionais ocasionadas pelo carregamento, facilitando desta maneira a formação de fissuras ativas nas mesmas. Além disso, estocam água tratada contendo substâncias que, ao se dissociarem na água, emanam vapores de cloretos capazes de induzirem a desagregação do concreto e a corrosão das armaduras.
- Infelizmente, não se costuma executar tratamentos térmicos que diminuam o fluxo térmico nas lajes de tampa dos reservatórios superiores, nem mesmo são executados sistemas protetores contra infiltrações de água e vapores através de suas paredes e laje de fundo internamente ou sequer nas faces inferior e superior das lajes de tampa.

Recuperação e impermeabilização de reservatórios d'água inferiores

- Os reservatórios d'água inferiores, as cisternas, são elementos estruturais que, em geral, só recebem intervenções de recuperação quando são percebidos altos índices de deterioração por patologias.
- Isto se deve a diversos fatores entre os quais sua localização de confinamento nos pavimentos mais inferiores das edificações, em geral envolvidos por solos ou aterros umedecidos, e em muitos casos em contato com o lençol d'água, resíduos líquidos e gases confinados no solo provenientes de esgotos e de lixo. Constata-se também que ocorrem deficiências em projetos de dosagem, lançamento, adensamento e cura do concreto, gerando juntas de concretagem, brocas e nichos na sua estrutura.
- Além disso, tem sido costume na engenharia a previsão de tratamentos impermeabilizantes apenas nas faces internas desses reservatórios, os quais têm-se mostrado vulneráveis ou sequer prevêm tratamento recobrando suas estruturas pela face externa. Como consequência, as estruturas em concreto armado dos reservatórios d'água inferiores sofrem danos e anomalias graves.

Reservatórios d'água em edificações - Considerações finais

- Os reservatórios de acúmulo de água em edificações devem ser inspecionados anualmente para a avaliação dos seus estados de conservação, examinando-se: índices de manifestações patológicas, integridade estrutural, estanqueidade a líquidos e vapores.
- Conforme o grau de incidência de danos e anormalidades encontradas, com respectivos diagnósticos de causas e efeitos, devem ser propostos trabalhos de recuperação. Nos serviços de recuperação devem ser contemplados os reparos dos efeitos assim como das causas geradoras de manifestações patológicas. Após a execução dos serviços de recuperação das estruturas, devem ser aplicados sistemas protetores de impermeabilização, para impedir a penetração de agentes agressivos e reincidência das patologias no concreto.
- No caso específico dos reservatórios superiores ainda devem ser previstos isolamentos térmicos que coíbam as deformações e fissuras de origem térmica das estruturas.
- Em qualquer caso, são indispensáveis os sistemas protetores de impermeabilização.

Conclusões – Impermeabilização em Edificações

- I) A conservação do patrimônio edificado público e/ou particular é garantida por meio de programas criteriosos de manutenção predial, os quais implementem a proteção dos edifícios e construções baseados em vistorias de engenharia seguidos de diagnósticos e proposições de intervenções. Constata-se que nas edificações em concreto as manifestações patológicas mais incidentes têm suas origens nas infiltrações d'água.
- II) Torna-se relevante e necessário aos engenheiros e arquitetos o conhecimento da história evolutiva dos sistemas construtivos, das diversas técnicas de edificar, dos materiais de construção e, em particular, dos materiais e técnicas protetoras de impermeabilização, visando à melhoria executiva e durabilidade das edificações.
- III) O estudo e conhecimento da ação das águas e agentes agressivos nas estruturas de concreto, respectivas manifestações patológicas e efeitos de deterioração são relevantes para a execução dos sistemas protetores de impermeabilização.

Conclusões – Impermeabilização em Edificações

- IV) Confirma-se a ação deletéria das águas associadas a outros agentes agressivos como os principais indutores de manifestações patológicas causadoras de processos de deterioração das edificações em concreto, justificando-se, dessa forma, a necessidade dos tratamentos de impermeabilização.
- V) Percebe-se que as estruturas de concreto, por si próprias, não são capazes de garantir estanqueidade às águas, associada a outros agentes agressivos ou sequer a inibição de suas ações de deterioração, mesmo em casos de dimensionamento/dosagem/lançamento/adensamento/cura criteriosos ou de utilização de CAD. Conclui-se ser necessária, em qualquer caso de estrutura de concreto, a aplicação de sistemas de impermeabilização como proteções aos processos de deterioração.
- VI) Os programas de manutenção predial são fundamentais para a garantia do desempenho das impermeabilizações, sendo o desempenho representado pela durabilidade do sistema de impermeabilização no período de vida útil. Preferencialmente, nas edificações, devem ser implantados programas de manutenção dos tipos preditivo ou preventivo, e não apenas as intervenções de manutenção corretivas.

Conclusões – Impermeabilização em Edificações

- VII) As pontes e viadutos no Brasil necessitam de programas de manutenção, incluindo inspeções e aplicações de tratamentos protetores de impermeabilização. Deve haver mudança radical da tradição construtiva de não se impermeabilizar as estruturas de pontes e viadutos. Justificam-se os tratamentos de impermeabilização como medidas de proteção e preservação, evitando-se onerosas obras recorrentes, cíclicas, de recuperações ou novas construções para substituição de estruturas em processos de deterioração.
- VIII) As fundações de edifícios e elementos estruturais em concreto em contato com o solo, como cortinas, pilares, blocos de coroamento, sapatas, estacas, cintas, vigas de equilíbrio, elementos em subsolos, galerias, e outras estruturas subterrâneas, devem ser objeto de monitoramentos, inspeções e ensaios informativos, para avaliação de suas integridades estruturais.
- IX) Torna-se clara a necessidade de estreito elo entre as intervenções de recuperação e as impermeabilizações de estruturas dos edifícios de concreto, chamando-se a atenção para a coerção, igualmente, das causas e dos efeitos das manifestações patológicas.

Conclusões – Impermeabilização em Edificações

- XI) Grande parte das lides em fóruns de justiça assim como de litígios extrajudiciais são gerados por problemas de infiltrações de água em edificações. Assim sendo, torna-se clara a necessidade de domínio do tema engenharia de impermeabilizações por engenheiros e arquitetos que atuam como peritos ou assistentes técnicos da justiça, além do conhecimento básico de procedimentos jurídicos que envolvem as “perícias de engenharia”.
- XIII) Construtores, engenheiros, arquitetos e investidores em imóveis devem dar maior importância aos procedimentos de impermeabilização, com ênfase para a elaboração do “projeto de impermeabilização” de forma sistêmica conforme a NBR 9575. E ainda, devem estar atentos aos procedimentos de impermeabilização vertical das fachadas.
- XIV) Percebe-se tendência no “estado da arte” das impermeabilizações, em edificações e construções, para a disseminação das aplicações utilizando-se produtos formadores de membranas e micro-revestimentos moldados “in loco”, aplicados em substratos de concreto alisado, conferindo-lhes, ao mesmo tempo, impermeabilidade e acabamento, sem necessidade das camadas de proteção mecânica.

Conclusões – Impermeabilização em Edificações

- XI) Grande parte das lides em fóruns de justiça assim como de litígios extrajudiciais são gerados por problemas de infiltrações de água em edificações. Assim sendo, torna-se clara a necessidade de domínio do tema engenharia de impermeabilizações por engenheiros e arquitetos que atuam como peritos ou assistentes técnicos da justiça, além do conhecimento básico de procedimentos jurídicos que envolvem as “perícias de engenharia”.
- XIII) Construtores, engenheiros, arquitetos e investidores em imóveis devem dar maior importância aos procedimentos de impermeabilização, com ênfase para a elaboração do “projeto de impermeabilização” de forma sistêmica conforme a NBR 9575 (1998). E ainda, devem estar atentos aos procedimentos de impermeabilização vertical das fachadas.
- XIV) Percebe-se tendência no “estado da arte” das impermeabilizações, em edificações e construções, para a disseminação das aplicações utilizando-se produtos formadores de membranas e micro-revestimentos moldados “in loco”, aplicados em substratos de concreto alisado, conferindo-lhes, ao mesmo tempo, impermeabilidade e acabamento, sem necessidade das camadas de proteção mecânica.

Impermeabilização em Edificações

- Edifícios em concreto armado e protendido
- Lajes de edifícios
- Reservatórios elevados e subterrâneos de edifícios
- Piscinas elevadas em edifícios
- Subsolos de edifícios
- Fundações e embasamentos de edifícios
- Impermeabilizações verticais em edifícios
- Impermeabilização de ci's, pv's, fossas
- Elementos em balanço
- Rampas e planos inclinados
- Estruturas pré-fabricadas
- Pontes, viadutos e passarelas
- Estruturas submersas e em zonas de respingos
- Estruturas subterrâneas
- Estações de tratamento d'água (ETA's) e de esgoto(ETE's)

Impermeabilização em Edificações

- Umidade de capilaridade
- Piscinas no solo
- Canais e tubulações em concreto
- Estruturas de contenção
- Arquibancadas de estádios
- Cúpulas e elementos em casca
- Pavimentos armados em concreto
- Pavimentos em concreto asfáltico
- Manutenção em impermeabilizações
- Detalhes básicos em impermeabilizações
- Agentes agressivos ao concreto e aço
- Águas agressivas ao concreto
- Solos agressivos ao concreto
- Atmosferas e micro-climas agressivos ao concreto
- Impermeabilização, isolamento térmico/acústico

Bibliografia

- ABNT (2003) “NBR 9575 - Impermeabilização – seleção e projeto”. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 12p.
- Cunha, A. G.; Neumann, W. “Manual de impermeabilização e isolamento térmico/Como projetar e executar”. 5 ed. RJ: Ed Independente, 1979
- Jordy, J.C. “Desempenho e avaliação dos serviços de impermeabilização aplicados em edificações”. UFF - Dissertação de Mestrado/Niterói. 488 p., 2002
- Pires, M.C., “Guia para avaliação do potencial de contaminação em Imóveis”. Cetesb, SP.
- Perez, A.R. Umidade nas Edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas. Tecnologia das Edificações SP Pini, Div. de Edificações do IPT. 1988. p. 571-78.
- Sato, Neide et al. Umidade e crescimento de microrganismos em fachadas. In: III Seminário Internacional de durabilidade de materiais, componentes e estruturas. SP, 1995. Anais.
- Ioshimoto, E. Incidência de manifestações patológicas em edificações habitacionais. Tecnologia das Edificações, SP. Pini, IPT – 1988. p. 545-48.

Sessão encerrada
Obrigado a todos

Eng^o Marcelo Iliescu
iliescu@iliescu.com.br
www.iliescu.com.br