Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CBPAT 2018

Abril de 2018

INIBIDORES DE CORROSÃO E PROTETORES DE SUPERFÍCIE EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: DEFINIÇÃO, MECANISMO DE ATUAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E PRINCIPAIS ESTUDOS REALIZADOS

F. COSTA
Docente UFRB/ Doutoranda UFBA
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Bahia; Brasil
fernandacosta@ufrb.edu.br

I. PARENTE
Estudante de Pós-graduação (Mestrado)
Universidade Federal da Bahia
Bahia; Brasil
igor_parente@hotmail.com

T. BARRETTO
Estudante de Pós-graduação (Doutorado)
Universidade Federal da Bahia
Bahia; Brasil
tatibarretto@hotmail.com

RESUMO

Este artigo tem por objetivo o estudo do mecanismo de atuação e classificação de inibidores de corrosão e protetores de superfície em estruturas de concreto armado e realizar um mapeamento das publicações sobre o tema, selecionando um portfólio bibliográfico das publicações mais relevantes e alinhadas segundo a percepção dos autores dessa pesquisa. Para este portfólio, fez-se uma avaliação bibliométrica visando construir o conhecimento sobre os assuntos mais comumente abordados: artigos, principais autores, áreas e ano de publicação. Para o desenvolvimento desta pesquisa foi realizado um levantamento de publicações relacionadas aos temas de cunho científico abordados, através da utilização do Portal de Periódicos da Capes para traçar um panorama geral e da busca nas bases de dados ScienceDirect, Scopus e SciELO. Foram utilizadas as palavras-chaves, delimitando a busca na opção “no título”, selecionando-se o período de tempo desejado, neste caso, a data de publicação selecionada foi qualquer ano. Os três principais tipos de proteção superficial do concreto encontrados foram os formadores de película, bloqueadores de poros e hidrofugantes de poro aberto. Já o campo do desenvolvimento de novas tecnologias acerca dos inibidores de corrosão tem-se destaque na indústria internacional. Percebe-se que os esforços voltados para o desenvolvimento de novos produtos por empresas ou empreendedores brasileiros ainda estão incipientes. Estudos recentes mostram que é tendência o interesse da indústria em inibidores decorrentes de substâncias naturais, principalmente pelo seu baixo custo, por serem ecologicamente corretas e não apresentarem risco ao meio ambiente. Assim, o resultado da pesquisa demonstra a relevância do tema em estudo por meio da quantificação de estudos realizados, não só de cunho tecnológico, mas também científico.

Palavras-chave: Análise bibliométrica. Concreto armado. Inibidores. Protetores de superfície.

ABSTRACT

This article aims to study the mechanism of action and classification of corrosion inhibitors and surface protectors in reinforced concrete structures and to carry out a mapping of the publications on the subject, selecting a bibliographic portfolio of the most relevant and aligned publications according to the perception of the authors of this research. For this portfolio, a bibliometric evaluation was carried out aiming to build the knowledge about the subjects most commonly approached: articles, main authors, areas and year of publication. For the development of this research was carried out a survey of publications related to scientific topics addressed, through the use of the Portal of Periodicals of Capes to outline an overview and search the databases ScienceDirect, Scopus and SciELO. The keywords were used, delimiting the search in the "in

title" option, selecting the desired period of time, in this case, the selected publication date was any year. The three main types of surface protection of concrete found were film formers, pore blockers and open pore water repellents. Already the field of development of new technologies on corrosion inhibitors has been highlighted in the international industry. It is noticed that the efforts directed at the development of new products by Brazilian companies or entrepreneurs are still incipient. Recent studies show that the industry's interest in inhibitors due to natural substances is mainly due to its low cost, because they are ecologically correct and do not pose a risk to the environment. Thus, the research results demonstrate the relevance of the subject under study through the quantification of studies carried out, not only technological but also scientific.

Keywords: Bibliometric analysis. Reinforced concrete. Inhibitors. Surface protectors.

1. INTRODUÇÃO

Entre as técnicas construtivas para solução estrutural, possivelmente, o concreto armado ou protendido é a que possui maior participação nas obras brasileiras. Entretanto, diversos fatores podem levar à sua deterioração ao longo dos anos, devido a vários motivos, tendo-se como principais causas de degradação da matriz cimentícia do concreto a corrosão, carbonatação, reação álcalis-agregado, ataque por ácidos, ataque por sulfatos, hidrólise dos componentes da pasta, bioterioração (RIBEIRO, 2016), além do desgaste da superfície causado pela abrasão, erosão, cavitação e a ação de outros agentes físicos como a fissuração.

O concreto é um composto que se destaca devido às suas características que o tornam bastante peculiar, tais como disponibilidade dos materiais constituintes, facilidade de produção, transporte e manuseio, variadas formas e tamanho, custo relativamente baixo, diante de outras alternativas estruturais, e excelente resistência à água (PETRUCCI, 2005; MEHTA; MONTEIRO, 2008; ISAIA, 2010). Porém, quando submetido em condições de exposição com o meio, seu desempenho pode ser afetado, comprometendo sua vida útil.

A corrosão é um processo de degradação natural que pode facilmente atuar em diferentes tipos de superfícies e representa uma das principais causas de problemas patológicos em edificações em concreto armado, sendo necessário seu controle pelos aspectos econômicos, estéticos, ambiental e de segurança. Geralmente, os processos de corrosão química, eletroquímica ou eletrolítica são espontâneos, levando a modificações nas características físico-químicas dos materiais. De uma forma geral, a corrosão é definida como sendo a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos (FREIRE, 2005).

Mesmo que o recobrimento de concreto apresente elevada qualidade e uma espessura adequada, os agentes corrosivos podem penetrar através dos poros ou de fissuras do concreto e causar uma corrosão significativa da armadura. Portanto, nos ambientes agressivos em relação à corrosão, principalmente quando a estrutura de concreto está sujeita a fissuras causadas por solicitações mecânicas, é recomendado adotar medidas adicionais para proteger a armadura contra corrosão. As principais medidas adicionais que são utilizadas para proteger a armadura do concreto armado contra a corrosão são: utilização de aditivos inibidores de corrosão, proteção catódica da armadura, revestimento da armadura através de um depósito à base de zinco ou de uma camada polimérica, substituição da armadura de aço carbono por materiais resistentes à corrosão (aço inoxidável ou compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro), revestimento do concreto com recobrimentos protetores. A adoção dessas medidas complementares eleva o custo inicial da obra, mas, no entanto, o estudo da viabilidade para sua implantação deve levar também em consideração a diminuição dos custos de manutenção e as consequências causadas por eventuais paralisações devido às operações de reparo e manutenção (RIBEIRO *et al.*, 2014).

Segundo Nunes (2011), a situação de proteção em que se encontra a armadura no interior do concreto pode durar indefinidamente, desde que o concreto apresente boa qualidade, não fissure e não tenha suas características físicas ou mecânicas alteradas devido à ação de agentes agressivos. Entretanto, por apresentar estrutura porosa, o concreto não funciona como barreira perfeita contra penetração de agentes desencadeadores e propagadores da corrosão, chegando à conclusão de que, dentro de algum tempo, a armadura será atacada e o processo de corrosão iniciará.

Na intenção de oferecer segurança e durabilidade às estruturas, empresas do ramo químico e de produtos para construção civil disponibilizam no mercado diferentes formas de proteção à corrosão (VIEIRA, 2010).

A utilização de inibidores de corrosão representa uma opção importante para o controle de processos de corrosão e para proteção contra corrosão. Os inibidores têm sido amplamente utilizados para controle de corrosão e podem ser empregados para controlar a agressividade do meio corrosivo, além de serem incorporados ao concreto, quer como pré-tratamento quer como revestimento, no intuito de retardar ou evitar o aparecimento da corrosão.

O efeito dos inibidores e seus mecanismos de proteção têm sido amplamente considerados na literatura para vários campos de aplicação. Esta pesquisa visa demonstrar a relevância do tema em estudo por meio da quantificação de estudos realizados relacionados ao uso de inibidores de corrosão e protetores de superfície em estruturas de concreto armado, através de uma avaliação bibliométrica. Além disso, o trabalho apresenta alguns dos principais inibidores de corrosão, seu mecanismo de ação e aplicação dos inibidores de corrosão do concreto e do aço.

2. METODOLOGIA

A primeira etapa da pesquisa constou de revisões bibliográficas disponíveis na literatura sobre o processo de corrosão em estruturas de concreto, o levantamento dos principais inibidores de corrosão disponíveis para uso em concreto e sua definição, mecanismo de atuação e classificação.

Para o desenvolvimento da segunda etapa desta pesquisa foi realizado um levantamento de publicações relacionadas aos temas abordados nesse trabalho, através da utilização do Portal de Periódicos da Capes para traçar um panorama geral, de cunho científico, onde as palavras-chave foram inseridas no campo “buscar assunto”. A pesquisa direciona a busca simultânea em várias bases de dados (ScienceDirect, Scopus, SciELO, entre outros).

A partir da tabulação das principais palavras-chaves utilizadas em artigos de grande relevância ou maior citação, foram realizadas novas pesquisas no Scopus utilizando as palavras-chaves e delimitando a busca na opção “título, abstract ou palavras-chaves”, selecionando-se o período de tempo desejado, no qual se considerou como data de publicação qualquer ano.

Na terceira etapa do estudo fez-se uma pesquisa refinada, levantando as publicações específicas com o uso de inibidores de corrosão e protetores de superfície em estruturas de concreto armado.

3. INIBIDORES DE CORROSÃO: DEFINIÇÃO, MECANISMO DE ATUAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

O processo de corrosão é espontâneo, causado pela necessidade do material em atingir o seu estado de menor energia, que é o seu estado mais estável. A maioria dos metais é encontrada na natureza em forma de compostos, como óxidos e hidróxidos, já que nessa forma eles apresentam um estado mínimo de energia. Quando esses metais são processados, passam a adquirir o estado metálico, porém ao entrarem em contato com o meio ambiente, passam a reagir espontaneamente, se transformando em composto, que apresenta um menor estado de energia (RIBEIRO *et al.*, 2014).

Conforme Cascudo (1997) *apud* Mennucci (2004), a película passiva é a grande defesa da armadura e a garantia de que esta não sofrerá corrosão. Entretanto, ela pode ser atacada frente a duas condições básicas: primeiramente, devido à presença de uma quantidade suficiente de íons cloretos; os quais podem advir tanto do meio externo e atingir a armadura por difusão, quanto podem já estar no interior do concreto devido à água de amassamento e/ou a agregados contaminados, e em segundo lugar, pela diminuição da alcalinidade do concreto, que pode ocorrer devido principalmente às reações de carbonatação ou mesmo à penetração de substâncias ácidas no concreto.

A corrosão ocorre como consequência da formação de uma célula eletroquímica que é definida (ânodo e cátodo), resultado da falta de uniformidade do aço na sua estrutura interna. Qualquer célula eletroquímica é composta por quatro elementos principais: um ânodo, onde ocorre a oxidação (perde elétrons), um cátodo, onde ocorre a redução do oxigênio (ganha elétrons), um condutor metálico (vergalhão), no qual a corrente

elétrica é representada pelo fluxo de elétrons, e um eletrólito (meio aquoso), neste caso, água dos poros do concreto, onde as cargas elétricas são transportadas (HELENE, 1993 *apud* DOMÍNGUEZ, 2016).

2.1 DEFINIÇÃO E MECANISMO DE ATUAÇÃO

O uso dos inibidores de corrosão é bem mais difundido em vários segmentos industriais, dos quais se pode destacar o setor de autopeças (para preservação de partes externas de componentes), a aviação (na proteção das aeronaves), os minerodutos (no transporte de minério e carvão) e na indústria de petróleo e gás. Cita-se, por exemplo, que o uso de inibidores leva a redução dos custos por parte das empresas e pode aumentar a vida útil de um duto de transporte em até cinco vezes, além de reduzir em cerca de 95% a velocidade das reações de corrosão (INIBIDORES, 2007).

Inibidor de corrosão é qualquer espécie química ou mistura que, na sua concentração crítica, atua sobre a superfície metálica, retardando ou minimizando a velocidade de reação da corrosão e não tem efeitos contrários às propriedades do concreto (FREIRE, 2005). Por apresentar esta propriedade, é que os inibidores são bastante empregados pelas indústrias há mais de cem anos para proteger equipamentos, componentes metálicos, sistemas de resfriamento ou aquecimentos, indústria de galvanoplastia nas decapagens químicas, produção, transporte e armazenamento de petróleo, transporte de gás natural, dentre outros (SILVA, 2006).

Os inibidores de corrosão podem atuar antes do início do processo de corrosão, através da inibição dos íons agressivos ou após o início da corrosão, devido à formação de sub-produtos inibidores, a partir da reação com o próprio produto da corrosão. São adicionados em baixos teores ao meio cimentício, que retardam ou interrompem o processo corrosivo. Esses produtos têm a função de penetrar no concreto de cobrimento e de reduzir a taxa de corrosão do aço sem danificá-lo. Eles devem ser estáveis e compatíveis com o meio cimentício e não devem ser tóxicos. Atualmente, a eficácia desses produtos é da ordem de uma dezena de anos (CASCUDO, 2014).

Para proteger a armadura contra a corrosão, essas substâncias, além de inibirem a corrosão do aço em meio alcalino ou em meio neutro (no caso da carbonatação) na temperatura ambiente, devem apresentar a capacidade de se difundir através do concreto até o local que se encontra a armadura. Além disso, o inibidor não deve prejudicar as propriedades químicas e físicas do concreto, como a sua resistência mecânica (RIBEIRO *et al.*, 2014).

No Brasil, após a década de 90 começou um crescimento gradativo no uso dos aditivos inibidores de corrosão, com o objetivo de aumentar a durabilidade das estruturas de concreto armado (BOLINA; CASCUDO, 2013 *apud* DOMÍNGUEZ, 2016).

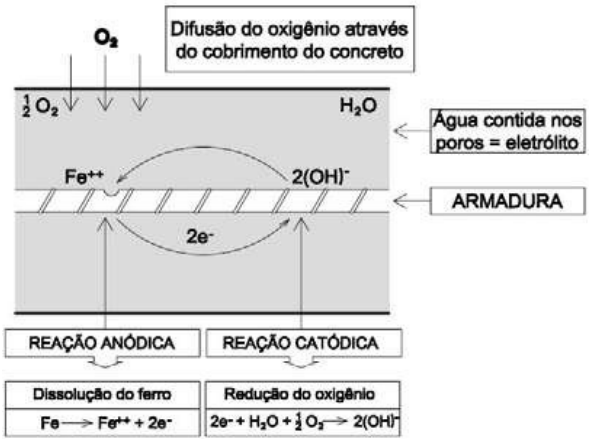
A importância do inibidor de corrosão se evidencia no nível de proteção que este possa oferecer ao aço de reforço, já que o lugar de atuação será na superfície do mesmo, modificando a resposta eletroquímica, tornando-se mais resistivo. A interação entre um inibidor e a armadura será diferente em função da natureza e mecanismo de atuação do inibidor (DOMÍNGUEZ, 2016).

Freire (2005) destaca que para um inibidor de corrosão ser efetivo, a substância química selecionada ou mistura de substâncias químicas devem satisfazer as seguintes exigências: as moléculas devem possuir um forte receptor ou doador de elétrons ou ambas as propriedades; a solubilidade deve ser tal que uma rápida saturação da superfície corroída aconteça sem que o material seja lixiviado para fora do concreto; ser compatível com o sistema planejado de forma que efeitos colaterais adversos não sejam produzidos; e deve ser efetivo ao pH e à temperatura ambiente onde é usado.

A figura 1 apresenta um esquema ilustrativo para o caso de corrosão em concreto armado. Ressalta-se, no entanto, que para haver formação de pilha de corrosão é necessária a existência de meios de transporte para que os íons e os elétrons originários desse processo se movimentem entre as áreas anódicas e as catódicas. Normalmente, os elétrons migram via contato direto metal-metal e os íons em dissolução e migração via solução (ANDRADE, 2001 *apud* NUNES, 2011).

Ainda, segundo Nunes (2011), na célula de corrosão do concreto, a armadura funciona como um eletrodo misto, ocorrendo reações anódicas e catódicas e com a solução contida nos poros do concreto sendo o eletrólito. Qualquer diferença de potencial entre as zonas anódicas e catódicas acarreta o aparecimento de corrente elétrica e, dependendo da magnitude dessa corrente e do acesso de oxigênio, haverá ou não corrosão da armadura.

Figura 1 – Esquema simplificado da célula de corrosão em concreto armado



Fonte: NUNES, 2011

Além da inibição específica nos locais anódicos e catódicos da armadura, acredita-se que alguns inibidores reduzem a taxa de difusão de cloreto através do concreto. O benefício é o resultado de alterações na permeabilidade do material por interação entre os aditivos e os constituintes da pasta de cimento (FREIRE, 2005). Aditivos que, geralmente, reduzem o ingresso do cloreto em concreto atuam por qualquer um dos dois métodos. Alguns funcionam "entupindo" a estrutura interna do poro do concreto, para inibir o movimento de substâncias externas por adsorção ou difusão, chamados de inibidores passivos (NMAI; KRAUSS, 1994 *apud* FREIRE, 2005). Outros aditivos funcionam "limpando" quaisquer espécies agressivas ou oxigênio em solução de poros, se combinados quimicamente ou adsorvidos, tornando-os inertes no ambiente do concreto.

A aplicação dos inibidores pode ser feita diretamente sobre a armadura, mediante pré-tratamento da mesma por imersão na solução de inibidor, ou adicionados ao concreto na mistura, que leva a um incremento da resistência à corrosão do filme. Em estruturas novas, e como medida preventiva, de modo a evitar ou retardar o início da corrosão das armaduras, os inibidores poderão ser adicionados, em quantidade suficiente, na mistura original do concreto fresco. Em estruturas existentes, e dependendo do tipo de produto, os inibidores poderão ser adicionados nas argamassas ou concretos de reparação, aplicados na superfície do concreto ou instalados em furos ou sulcos realizados em sua superfície com o intuito de acelerar a sua difusão através da camada de recobrimento das armaduras. O inibidor levará a um aumento do período de iniciação da corrosão, prolongando deste modo a vida útil da estrutura (MORENO, 2007 *apud* DOMÍNGUEZ, 2016).

De acordo com Domínguez (2016), os principais métodos de aplicação de inibidores de corrosão em concreto são:

a) acrescentar no concreto no momento de amassamento da mistura;
b) aplicar sobre a superfície do concreto endurecido, chamado migrador de corrosão;
c) acrescentar em argamassas para reparos em caso da perda do cobrimento pela corrosão do aço;
d) utilizar como um tratamento superficial nas barras de reforço para depois as utilizar dentro do concreto.

2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS INIBIDORES DE CORROSÃO

Os inibidores de corrosão podem ser classificados como orgânicos e inorgânicos. Os inibidores orgânicos interagem com a superfície através da adsorção física ou química. A primeira ocorre através das forças de

natureza eletrostática entre o inibidor e o metal (Força de Van der Walls), apresentando, portanto, uma baixa energia de ativação. A segunda ocorre através de reações químicas entre o inibidor e o metal, possuindo uma energia de ativação maior do que de adsorção física. Os inibidores de corrosão orgânicos têm sido utilizados em concreto armado desde o início da década de 1990 e incluem, principalmente, aminas e ésteres, oferecendo proteção por meio da adsorção e formação de um filme na superfície da armadura e às vezes retardam a chegada de íons cloretos na armadura (BOLINA, 2008). Estes inibidores podem ser sintéticos ou naturais.

Os inibidores sintéticos são aqueles produzidos artificialmente. Existem no mercado algumas marcas de inibidores comerciais produzidos. Já os inibidores orgânicos naturais são feitos, geralmente, a partir de partes de plantas (CRIVELARO, 2002 *apud* BOLINA, 2008). É crescente o número de investigações que têm sido feitas sobre o uso de substâncias naturais para a inibição da corrosão dos metais e têm atraído uma atenção considerável porque elas possuem um baixo custo, são propícias ecologicamente e não constituem uma ameaça ao ambiente (FORNAZARI *et al*., 2006).

Os inibidores inorgânicos são compostos inorgânicos, tais como: cromatos, nitritos, fosfatos, silicatos, boratos, entre outros. Nesta classe de inibidores pode-se citar: nitrito de sódio, nitrito de cálcio, cloreto estanhoso, cromato de potássio, molibdato de sódio e fluorfosfato de sódio (BOLINA, 2008).

Os inibidores de corrosão também são classificados de acordo com o seu mecanismo de atuação (anódicos, catódicos e mistos). Os inibidores anódicos são aqueles que atuam controlando as reações anódicas através da formação de uma película protetora de óxido de ferro sobre a superfície metálica, reduzindo a velocidade de corrosão por deslocar o potencial de corrosão para valores positivos. Os inibidores catódicos são aqueles que aumentam a polarização, controlando a corrosão, deslocando o potencial de corrosão na direção mais negativa. Os inibidores mistos são aqueles que interferem tanto nas reações anódicas como nas catódicas, provocando o deslocamento do potencial de corrosão em ambas as direções (SILVA, 2006).

Geralmente, segundo Silva (2006), os inibidores de corrosão anódicos são recomendados para serem adicionados à água de amassamento do concreto quando houver presença de cloretos e os mesmos forem dosados em função do teor de cloretos livres, presentes na massa do concreto.

Para Domínguez (2016), é provável que o efeito protetor ocorra pelo resultado da combinação da adsorção do inibidor sobre a superfície metálica e a formação de capas de óxidos sobre a mesma. Em quantidades insuficientes aumentam o perigo de corrosão já que reagem com o produto de corrosão formando filmes de óxido. Por isso, o potencial é deslocado para potencial mais nobre.

Ainda, conforme Domínguez (2016), a atuação dos inibidores catódicos parece estar relacionada com a formação de hidróxidos insolúveis, por reação com os OH- que se geram nas zonas catódicas da superfície da armadura, formando compostos insolúveis que precipitam sobre estas zonas catódicas. Deste modo, de uma maneira indireta, se inibe a velocidade de corrosão das armaduras, ao impedir o processo catódico da reação de corrosão. Observa-se uma diminuição do potencial de corrosão para potenciais menos nobres.

Freire (2005) alerta que é essencial usar uma quantidade adequada de inibidor, já que muitos agentes inibidores podem acelerar a corrosão, provocando em especial um ataque localizado, como corrosão por pontos, se a concentração for abaixo da correta. Neste sentido, os inibidores ainda podem ser classificados de acordo com sua concentração crítica, que é baseada na forma que o inibidor atua em concentração insuficiente para proteger toda a superfície do metal, conforme a seguir (FREIRE, 2005):

a) Inibidor seguro (“safe inhibitor”):

É aquele que, quando em concentração insuficiente para proteger a superfície do metal, provoca uma corrosão uniforme, não causando danos localizados, provocando, com isso, somente um sistema “não inibido”. Os inibidores seguros reduzem a corrosão total sem aumentar sua intensidade nas áreas desprotegidas. Um exemplo deste são os inibidores catódicos, os quais agem fazendo uma polarização catódica e, como o metal, no cátodo, não entra em solução, não haverá corrosão localizada nestas áreas. Uma exceção é o sulfato de zinco.

b) Inibidor perigoso (“dangerous inhibitor”):

É aquele que, quando presente em concentrações insuficientes para promover uma proteção em toda a superfície do metal, provoca uma forma de corrosão localizada, isto é, corrosão por pite e, em muitos casos, faz com que a situação por ele criada apresente corrosão mais acentuada do que o sistema sem inibidor. Com isso, tem-se que os inibidores perigosos produzem um aumento do grau de ataque das áreas desprotegidas. Como exemplo de inibidores perigosos, tem-se a maioria dos inibidores anódicos, exceto o benzoato de sódio.

Outras formas de classificação dos inibidores também são utilizadas. Segundo Elsener (2001, 2002) *apud* Ribeiro (2014), os inibidores utilizados no concreto armado podem ser classificados como: de adsorção, quer sejam anódicos, catódicos ou mistos; de formação de filme passivo, quando atuam bloqueando a superfície do metal; e de passivação, o qual favorece a estabilidade do filme de passivação.

Conforme Freire (2005), baseando-se nos mecanismos pelos quais a inibição da corrosão é promovida, Nmai e Krauss (1994) classifica os sistemas utilizados para proteger o aço no concreto contra este fenômeno em três categorias: sistemas ativos; sistemas passivos; e sistemas ativo-passivos ou passivo-ativos. Os sistemas ativos são definidos como aqueles que promovem a inibição da corrosão por meio de uma reação química entre seus componentes ativos e o aço, resultando na formação de um filme protetor, tipicamente uma camada de óxido, na superfície do aço. Um exemplo de um sistema ativo é o inibidor de corrosão nitrito de cálcio.

Sistemas passivos são definidos como aqueles nos quais a inibição é obtida pela redução no ingresso de íons cloreto no concreto, como é o caso de um concreto de sílica ativa. Os aditivos que funcionam pela combinação dos dois sistemas definidos anteriormente, formação de um filme protetor e a redução do ingresso de íons cloretos, podem ser denominado de sistemas ativo-passivos ou passivo-ativos, dependendo de qual mecanismo é o dominante.

3. RESULTADOS

3.1 Pesquisas relacionando uso de inibidores de corrosão, concreto e estruturas de concreto armado

Os resultados das pesquisas no banco de dados do Portal de Periódicos da Capes estão sintetizadas na tabela 1, a qual apresenta as palavras-chaves e a quantificação das publicações ao selecionar os critérios da busca através de registro do termo em “título, abstract ou palavras-chaves”. As palavras-chave que caracterizam o tema abordado são “inibidores de corrosão” como *Corrosion inhibitors* e “protetores de superfície” como *surface treatment*. Essas palavras foram adotadas e utilizadas nas bases de dados para a realização das pesquisas.

Para limitar a busca apenas ao setor da construção civil e aos inibidores de corrosão para uso em concreto armado, foi adicionada a palavra “concreto” como *concrete* e “estruturas de concreto” como concrete *structures*.

As informações contidas na tabela 1 foram organizadas apresentando a quantidade de publicações em ordem decrescente em relação aos termos e palavras utilizadas na busca feita em “qualquer campo” das publicações.

Nas buscas feitas no Portal de Periódicos da Capes, à medida que se utilizam palavras para refinar a busca, com termos mais específicos ao tema, percebe-se que o número de publicações é bastante reduzido.

A análise dos dados encontrados a partir da pesquisa na base da Capes demonstrou que o tema em estudo tem um aspecto de alta relevância no campo de pesquisa científica, pois a pesquisa com as palavras-chave “*Corrosion inhibitors*” apontou um resultado igual a 32791 itens relacionados ao assunto. Entretanto, ao avaliar com detalhes os artigos apontados, percebe-se que o uso dessa palavra-chave leva a resultados

que englobam inibidores de corrosão para usos diversos além do uso para concreto armado. Assim, foi necessário fazer refinamentos na busca, agregando termos e palavras-chave que desse o foco de interesse.

Considerando que, também, foi feita pesquisa refinando a busca com os termos "*Corrosion inhibitors" and "concrete*", a quantidade de publicações diminui para 2666 e refinando com os termos "*Corrosion inhibitors and Concrete structures*" a quantidade de publicações resultante é de 931, considerando as pesquisas em qualquer campo. Se for considerados os resultados da pesquisa com as palavras no título esse número vai para 82 publicações.

Realizando buscas refinadas com as palavras-chave em português "*Inibidores de corrosão e Concreto*" o número de artigos cai bruscamente, com apenas 4 publicações considerando as pesquisas em qualquer campo e apenas 2 publicações considerando as pesquisas no título dos artigos.

Tabela 1 – Palavras-chave e resultados das buscas no Portal da Capes

Strings usadas nas consultas (Periódicos Capes)	**Resultados por busca (qualquer campo)**	**Resultados por busca (palavras no título)**
Surface treatment	100921	5759
Corrosion inhibitors	32791	2138
Surface treatment and Concrete	**4134**	**89**
Corrosion inhibitors and Concrete	**2666**	**82**
Corrosion inhibitors and surface treatment	940	0
Corrosion inhibitors and Concrete structures	**931**	**18**
Inibidores de corrosão	20	7
Inibidores de corrosão e Concreto	**4**	**2**
Protetores de superfície	1	0
Inibidores de corrosão e protetores de superfície	1	0

Fonte: CAPES, 2018

Também, foram feitas buscas específicas no portal de periódicos Scopus no título, abstract e palavras-chave, limitando as pesquisas apenas em artigos e utilizando termos conforme tabela 2. Destaca-se a diferença na quantidade de artigos encontrados quando se utiliza termos mais específicos. Nas buscas feitas no Scopus, à medida que se utilizam palavras para refinar a busca, com termos mais específicos ao tema, tem-se uma redução no número. Entretanto, essa redução é menor quando comparada à busca realizada na Capes.

Tabela 2 – Palavras-chave e resultados das buscas no Scopus

TERMO DA BUSCA	**Nº ARTIGOS**	**LOCAL DA BUSCA**
Concrete	86742	*Article title*
"Corrosion inhibitor"	361	*Article title, Abstract, Keywords*
"Corrosion inhibitor" ou "Corrosion inhibition"	392	*Article title, Abstract, Keywords*
and "Corrosion rate"	74	*Article title, Abstract, Keywords*

A pesquisa com as palavras-chave "*Corrosion inhibitor*" apontou um resultado de 361 itens relacionados ao assunto. Considerando que, também, foi feita pesquisa refinando a busca incluindo ao termo "*Corrosion inhibitors"* o termo *"Corrosion inhibition"*, a quantidade de publicações aumenta para 392. Ou seja, alguns pesquisadores utilizam a palavra-chave "inibidor da corrosão" enquanto outros adotam "inibição da corrosão", sendo assim necessário levar isso em consideração. Continuando o refinamento das buscas com a palavras-chave "*Corrosion rate*", a qual dá um direcionamento ao foco maior objeto da pesquisa que são os inibidores voltados às estruturas de concreto ao considerar a taxa de corrosão, percebe-se que a quantidade de publicações decresce de maneira bastante acentuada. Assim, tem-se como resultado final 74 artigos.

Importante ressaltar a necessidade da adequada escolha das palavras-chave das buscas. Para esse cuidado, foram realizadas pesquisas utilizando diversos termos comumente usados em artigos de referência no tema, tais como "*Corrosion prevention*". A pesquisa com esse termo indicou 47 artigos, o que leva a uma exclusão de artigos importantes que não são contemplados quando se adota esse termo, ao invés de "*Corrosion rate*".

Por fim, fez-se um levantamento de todos os artigos resultantes, analisando um a um se o foco do trabalho era efetivamente inibidores de corrosão do concreto. Nesse momento, verificou a necessidade de efetuar a exclusão de artigos que não faziam parte do interesse da busca, a partir de análise individual em cada artigo. Organizou-se conforme tabela 3, os artigos com seus titulos, números de citações desses artigos em outros trabalhos, além do ano e do *Journal* em que estes foram publicados.

As figuras 2, 3, 4 e 4 mostram a partir dos resultados da busca os países onde os artigos foram publicados, o número de artigo por ano, as áreas em que os mesmos fazem parte e os principais autores, pesquisadores que mais publicaram artigos sobre o tema, respectivamente. Ou seja, as figuras apresentam os principais países e autores *experts* referência nos estudos sobre inibidores de corrosão em concreto armado.

Figura 2 – Principais países

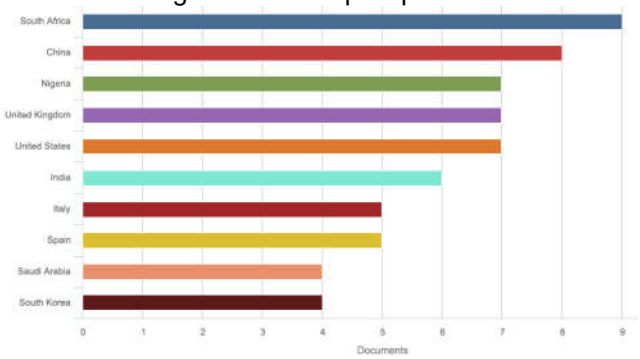


Figura 3 – Número de artigo ao longo dos anos

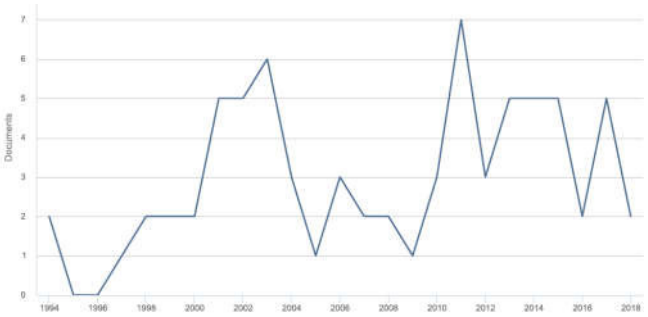


Figura 4 – Áreas de estudo

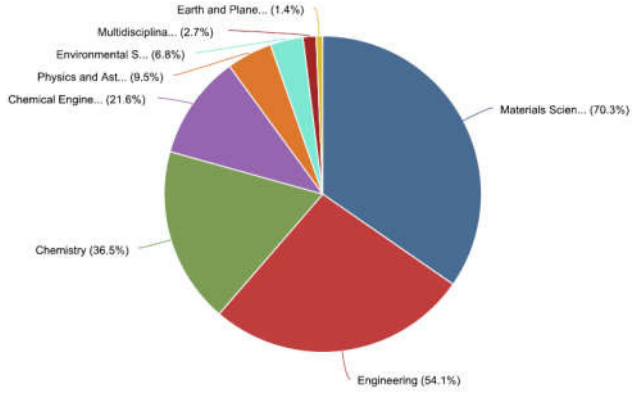
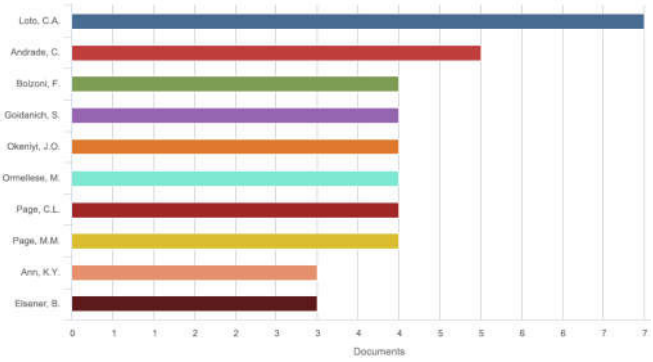


Figura 5 – Autores *experts*



Observa-se que os primeiros estudos sobre o tema aconteceram em 1994, sendo 2003 e 2011 os anos em que as publicações sobre o uso de inibidores de corrosão no concreto foram mais acentuadas. Em relação às àreas do conhecimento que mais pesquisaram o tem recebe destaque a Ciência dos Materiais, Engenharia e a Química.

Com a relação de artigos disposta na tabela 3 pode-se compreender e melhor visualizar sobre o que abordaram os estudos, de forma que estudiosos possam direcionar suas pesquisas futuras verificando as lacunas existentes. Ainda, a pesquisa indicou os principais periódicos que tem apresentado interesse sobre a temática, servindo como fonte de dados e locais os quais podem apresentar maior interesse em publicar futuros estudos. Dentre os periódicos, o *Corrosion*, *Cement and Concrete Research*, *Cement and Concrete Composites* foram os que maior apresentaram resultados.

Tabela 3 – Relação de Artigos, por ano, que tratam de inibidores de corrosão para uso em concreto (SCOPUS, 2018)

ARTIGO	ANO	ARTIGO	ANO
Corrosion inhibition of carbon steel by N,N′-Dimethylaminoethanol in simulated concrete pore solution contaminated with NaCl	2018	Corrosion inhibition performance of rhizophora mangle L bark-extract on concrete steel-reinforcement in industrial/microbial simulating-environment	2014
Chemical self-healing system with novel microcapsules for corrosion inhibition of rebar in concrete	2018	Probability density fittings of corrosion test-data: Implications on $C_6H_{15}NO_3$ effectiveness on concrete steel-rebar corrosion	2014
Corrosion inhibitors for steel in concrete-an update	2017	Inhibition effect of Vernonia amygdalina extract on the corrosion of mild steel reinforcement in concrete in 0.2 M H_2SO_4 Environment	2014
Inhibitive Effect of Molybdate IBons on the Electrochemical Behavior of Steel Rebar in Simulated Concrete Pore Solution	2017	Inhibition effect of Vernonia amygdalina extract on the corrosion of mild steel reinforcement in concrete in 3.5M NaCl environment	2013
Corrosion behavior of carbon steel in chloride contaminated simulated concrete pore solution with carboxylate of benzoic acid and dimethylethanolamine	2017	Effect of corrosion inhibitors on concrete pore solution composition and corrosion resistance	2013
Evaluation of corrosion inhibitors for reinforced concrete structures	2017	Effect of green inhibitor on the corrosion behaviour of reinforced carbon steel in concrete	2013
Effects of chloride ions on the corrosion resistance of conducting polypyrrole coated steel in simulated concrete pore solution	2017	Effectiveness of an amine-based inhibitor-guanidine for steel in chloride-contaminated concrete	2013
Anticorrosion performance of Anthocleista djalonensis on steel-reinforced concrete in a sulphuric-acid medium	2016	Calcium palmitate: A green corrosion inhibitor for steel in concrete environment	2012
Inhibitive effect of phosphate ions on the pitting corrosion behaviour of steel reinforcements: Study in simulated concrete pore solution	2016	Corrosion inhibition of steel in concrete with natural inorganic minerals in corrosive environments due to chloride attack	2012
The corrosion inhibition effect of forsterite (Mg_2SiO_4) mine tailings for steel rebar in reinforced concrete	2015	Calcium stearate: A green corrosion inhibitor for steel in concrete environment	2011
Corrosion inhibitors for reinforced concrete: 15 years of experiments @PoliLaPP	2015	Influence of pH on the nitrite corrosion inhibition of reinforcing steel in simulated concrete pore solution	2011
Quantitative model for surface-painting MCI influencing corrosion rate of corroded steel bar in chloride contaminated concrete and its application	2015	Effect of electrochemical injection of corrosion inhibitor into rebar deteriorated by chlorides in concrete	2011
Effect of zinc oxide on the corrosion inhibition of mild steel embedded in concrete in 3.5% NACL solution	2015	Steel corrosion-inhibiting effect of sodium nitrate in simulated concrete pore solutions	2011
Corrosion protection of non-alloyed AIAI 316L concrete steel metal grade in aqueous H_2SO_4: Electroanalytical and surface analyses with Metiamide	2014	Corrosion inhibitors in reinforced concrete structures Part 3 - Migration of inhibitors into concrete	2011
Preliminary study on service life extension of concrete structures under chloride environment-electromigration and corrosion inhibition performance of six amine-based inhibitors in concrete	2014	Corrosion inhibitors for the rehabilitation of chloride contaminated reinforced concrete structures	2011
Multiple corrosion-protection systems for reinforced-concrete bridge components: Laboratory tests	2014	Corrosion inhibitors for rebar in concrete- Part 2	2011

ARTIGO	ANO	ARTIGO	ANO
Effect of migratory corrosion inhibitors on the durability of chloride-contaminated rereinforced concrete(II) - Long-term effect, morphological and mechanismic analysis	2010	Corrosion inhibitor systems for remedial treatment of reinforced concrete. Part 2: Sodium monofluorophosphate	2003
Effect of NO_2-and Cl-on the corrosion behavior of reinforcing steel in simulated concrete pore solutions	2010	Macrocell activity in slightly chloride-contaminated concrete induced by reinforcement primers	2003
Laboratory Investigation and Neural Networks Modeling of Deicer Ingress into Portland Cement Concrete and its Corrosion Implications	2010	Passivating action of an organic inhibitor on the steel of reinforced concrete	2003
Migrating vs admixed corrosion inhibitors for steel in portland, pozzolona and slag cement concretes under macro cell condition	2009	Corrosion inhibitor systems for remedial treatment of reinforced concrete. Part 1: Calcium nitrite	2002
Electrochemical inhibitor injection for control of reinforcement corrosion in carbonated concrete	2009	A migrating corrosion inhibitor evaluated in concrete containing various contents of admixed chlorides	2002
Effect of nitrite in corrosion of reinforcing steel in neutral and acid solutions simulating the electrolytic environments of micropores of concrete in the propagation period	2009	Effectiveness of concrete inhibitors in retarding rebar corrosion	2002
The effect of calcium nitrite on the chloride-induced corrosion of steel in concrete	2007	Corrosion of Reinforced Concrete Exposed to Marine Environment	2002
Effectiveness of amino alcohol-based surface-applied corrosion inhibitors in chloride-contaminated concrete	2007	MCI® protection of concrete	2001
Performance of a penetrating corrosion nihibitor in concrete fafected by carbonation-induced corrosion	2006	Preventive and corrective maintenance of reinforced concrete exposed to chlorides, using an organic corrosion inhibitor	2001
Corrosion inhibitors in reinforced concrete structures Part 2 - Repair system	2006	Corrosion inhibitors in concrete: Part III. Effect on time to chloride-induced corrosion initiation and subsequent corrosion rates of steel in mortar	2001
Effect of calcium nitrite-based corrosion inhibitor in preventing corrosion of embedded steel in concrete	2006	Evaluation of a composite corrosion-inhibiting admixture and its performance in concrete under macrocell corrosion conditions	2001
Corrosion inhibition of reinforcing steel in concrete	2005	Competitive role of inhibitive and aggressive ions in the corrosion of steel in concrete	2000
Corrosion inhibitors in reinforced concrete structures Part 1: Preventative technique	2004	Migrating corrosion inhibitor blend for reinforced concrete: Part 2 - Inhibitor as repair strategy	2000
Investigations of an ethanolamine-based corrosion inhibitor system for surface treatment of reinforced concrete	2004	Migrating corrosion inhibitor protection of concrete	1999
Studies on the performance of migratory corrosion inhibitors in protection of rebar concrete in Gulf seawater environment	2004	Migrating corrosion inhibitor blend for reinforced concrete: Part 1 - Prevention of corrosion	1999
The performance of a migrating corrosion inhibitor suitable for reinforced concrete	2003	Performance of epoxy-coated steel and corrosion inhibitors in uncracked and precracked concrete slabs in sea water	1998
The effectiveness of corrosion inhibitors in concretes subjected to chloride attack and carbonation	2003	An electrochemical study of $Ca_5(PC)_{43}OH$ as steel corrosion inhibitor in chlorides-contamined concrete	1997
Natural marine exposure results for reinforced concrete slabs with corrosion inhibitors	2003	Corrosion of steel in cracked concrete	1994

4. CONCLUSÕES

Esse trabalho apresentou informações relevantes sobre os mecanismos de atuação e classificação dos inibidores de corrosão em estruturas de concreto e os resultados de uma avaliação no número de pesquisas voltadas ao tema. De acordo com os resultados obtidos conclui-se que o tema é de grande importância e vem sendo cada vez mais explorado. Destacou-se a importância dos inibidores de corrosão na durabilidade das estruturas de concreto armado e conclui que ainda existem grandes lacunas e oportunidades de pesquisa a serem desenvolvidas sobre o tema. Tal afirmação é corroborada pela pesquisa realizada por Uchôa *et al*. (2015) através de levantamentos de estudos sobre inibidores no mundo, os quais verificaram a relevância do tema a partir da quantificação dos estudos realizados, não só de cunho tecnológico, mas também científico. A pesquisa objetivou fornecer subsídios para realização de novos estudos e registrar a quantidade de patentes depositadas nos últimos 10 anos, relacionadas aos inibidores de corrosão do concreto, identificando os países que tem se destacado nestes estudos.

Os três principais tipos de proteção superficial do concreto encontrados foram os formadores de película, bloqueadores de poros e hidrofugantes de poro aberto. O campo do desenvolvimento de novas tecnologias acerca dos inibidores de corrosão tem ganhado destaque na indústria internacional, porém percebe-se que os esforços voltados para o desenvolvimento de novos produtos por empresas ou empreendedores brasileiros ainda estão incipientes.

Estudos recentes mostram que é tendência o interesse da indústria em inibidores decorrentes de substâncias naturais, principalmente pelo seu baixo custo, por serem ecologicamente corretas e não apresentarem risco ao meio ambiente. Assim, o resultado da pesquisa demonstra a relevância do tema em estudo por meio da quantificação de estudos realizados, não só de cunho tecnológico, mas também científico.

6. REFERÊNCIAS

DOMÍNGUEZ, A. O. **Análise Comparativa de Inibidores de Corrosão na Água de Poro e no Concreto Armado para Aço Carbono CA-50**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

FREIRE, K. R. R. **Avaliação do desempenho de Inibidores de Corrosão em Armaduras de Concreto**. Curitiba, 2005. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná, 2005.

ISAIA, G.C. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**, v.1 e v. 2, IBRACON: São Paulo, 2005.
MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MENNUCCI, M. *et al*. **Avaliação do Efeito de Inibidores na Resistência à Corrosão de Aço de Construção Civil**. Artigo publicado no XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, Porto Alegre, 2004.

NMAI, C. K.; KRAUSS, P. D. **Comparative Evaluation of Corrosion-Inhibiting Chemical Admixtures for Reinforced Concrete**. Durability of Concrete, v. SP- 145, p. 245-262. 1994. Detroit, American Concrete Institute. 1994.

NUNES, P. T. T. B. **Estudo de Revestimentos Inorgânicos com Inibidor de Corrosão Aplicado na Superfície do Concreto**. Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN, 2011.

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

RIBEIRO, D. V. *et al*. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise**. Rio de Janeiro: ELSEVIER, 2014.