

EFEITO DO POTENCIAL HIDROGENIÔNICO DA ÁGUA SOBRE A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO CONVENCIONAL

Janilson Alves Ferreira. E-mail: janilsonengmat@gmail.com
David Araújo Macêdo. E-mail: engdavidmacedo@gmail.com
Antônio Italcly de Oliveira Júnior. E-mail: antonioitalcly@hotmail.com

Resumo: A aplicação do concreto como elemento estrutural na construção civil representa uma das opções mais aplicadas no mundo. Esse material historicamente se destaca pela sua resistência mecânica e durabilidade, além de resistir a intempéries as quais possa ser submetido. Desde sua descoberta uma série de parâmetros vêm sendo estudados com o objetivo de aperfeiçoar ou adequar o concreto a agressividade do ambiente que este será exposto. Porém, a literatura pouco reporta sobre o efeito da qualidade da água e do pH na resistência do concreto, uma vez que se emprega a água disponível no local de preparação do concreto, seja usinado ou fabricado *in situ* por betoneiras. Este estudo propôs a investigação do referido tema a fim de esclarecer melhor à comunidade técnica e científica a influência do pH da água na resistência à compressão axial do concreto em diferentes idades, frente apenas a variação do pH da água. Deste modo, foi concluído que há uma significativa influência do pH da água na resistência do concreto à compressão, sobretudo em condições básicas tendo em vista que o concreto não atingiu a resistência requerida aos 28 dias de cura para o qual foi dimensionado.

Palavras-chave: pH da água. Concreto. Resistência à compressão.

EFFECT OF THE HYDROGENIONIC POTENTIAL OF WATER IN RESISTANCE TO CONVENTIONAL CONCRETE COMPRESSION

Abstract: The application of concrete as a structural element in civil construction represents one of the most applied options in the world. This material historically stands out for its mechanical resistance and durability, as well as resisting the weather in which it can be submitted. Since its discovery a series of parameters have been studied with the objective of perfecting or adapting the concrete to the aggressiveness of the environment that this will be exposed. However, the literature reports little on the effect of water quality and pH on concrete strength, since the available water is used at the site of the concrete preparation, whether it is machined or fabricated *in situ* by concrete mixers. This study proposed the investigation of this topic in order to better clarify to the technical and scientific community the influence of water pH on the axial compressive strength of concrete at different ages, only the pH variation of the water. Thus, it was concluded that there is a significant influence of the pH of the water on the compressive strength of the concrete, especially in the basic conditions, considering that the concrete did not reach the required strength during the 28 days of curing for which it was dimensioned.

Keywords: PH of water. Concrete. Compressive strength.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os materiais de origem cerâmica, o concreto é um aglomerado constituído de agregados e cimento como aglutinante, é, portanto, uma rocha artificial^[1]. Sua fabricação é feita pela mistura dos seus agregados (areia e brita) com cimento e água, à qual, conforme a necessidade, são acrescentados aditivos, que influenciam as características físicas e químicas do concreto fresco ou endurecido. No estado fresco é moldado em formas e adensado através de vibradores e a perda de trabalhabilidade começa após poucas horas e, de acordo com o tipo de cimento, atinge aos 28 dias cerca de 60 a 90% de sua resistência^[2].

As tecnologias a respeito de tais materiais continuam sendo estudadas, normalizando seu emprego, isto é, adequando a utilização do concreto à crescente exigência tecnológica que vivenciamos hoje em dia, com o intuito de adquirir certas qualidades que se refletem em seu uso final.

De acordo com a literatura^[3], concreto é uma matriz cimentícia, onde o cimento Portland utilizado em sua composição é constituído basicamente por clínquer e adições. As adições variam de acordo com o tipo de cimento, porém o clínquer é o constituinte de maior proporção presente neste material de construção, que por sua vez, é composto por rocha calcária britada e argila obtidas, geralmente, em jazidas próximas as fabricas de cimento.

Com o passar do tempo, descobriu-se que o uso de certos materiais como a pozolana, adicionado ao calcário, contendo elevada taxa de argila, resultava em uma argamassa de melhor qualidade^[4]. A fração argilosa de tais materiais apresentam caráter hidrofílico devido a polaridade da água e da distribuição de íons nas partículas da argila. Isso evidencia a fundamental importância da água para a confecção de tal elemento, e, face aos seus requisitos de qualidade mais exigentes, tais como alcalinidade ou acidez^[5,6].

Água é um item presente na construção civil e tema das mais diversas pautas. Caracterizá-la em conjunto com o concreto é extremamente importante já que há uma interrelação entre o uso da água e a qualidade requerida do concreto^[7].

As quantidades de íons na água que reagirão para a neutralidade de íons de hidrogênio é uma medição da capacidade da água de neutralizar os ácidos. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e os hidróxidos (OH^-)^[7]. A acidez hídrica é a capacidade da água em resistir as mudanças de pH causadas pelas bases. É devida principalmente à presença de gás carbônico (CO_2) livre, onde o pH varia entre 4,5 e 8,2.

O assunto também ganha outras dimensões quanto ao estudo do pH e sua influência na resistência do concreto, uma vez que se emprega a água disponível no local de preparação do mesmo. Deve-se ter cuidado principalmente com a contaminação, haja vista que esta pode ser encontrada em reservatório ou diretamente no sistema público.

É relevante, portanto, investigar o tema, a fim de esclarecer melhor a comunidade técnica e científica a vulnerabilidade do concreto ao efeito do pH, frente às suas variações, considerando que há pouca literatura disponível em respeito a tal assunto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização dos Materiais

O cimento utilizado foi do tipo CP II F-32 – Cimento Portland composto com Fíler, com adição de fíler calcário em teor entre 6 e 10%. O agregado miúdo foi utilizado uma areia situada no município de Juazeiro do Norte-CE. Para o agregado miúdo foi realizado primeiramente um processo de preparação da amostra de areia, que consistiu em selecionar 2 kg da jazida e dispor o solo distribuído em um recipiente, em seguida o mesmo foi levado a estufa por 24h a 100°C. Após este processo foi realizado o quarteamento manual da areia e selecionado duas diagonais distintas para compor a amostra.

A caracterização do agregado miúdo foi realizada com base no ensaio de Densidade Real de acordo com NBR 6508^[8], também conhecido como massa unitária e/ou ensaio do picnômetro. Foram utilizados três picnômetros e ao final foi calculado a média dos valores obtendo aproximadamente uma densidade real dos grãos da ordem de 2,64 g/cm³.

O agregado graúdo foi adquirido no município de Juazeiro do Norte-CE. O mesmo foi caracterizado quanto a sua granulometria e determinado o volume compactado seco e o peso específico. O processo de granulometria foi utilizado para estabelecer um agregado padrão (Brita-01), para ser utilizado nos ensaios. Desta forma todo agregado graúdo foi peneirado utilizando a peneira nº 4. O volume compactado seco do agregado foi determinado com um cilindro de volume conhecido, preenchido com a brita, e posteriormente pesado esse material, desconsiderando o peso do cilindro.

Para obter o peso específico do agregado graúdo, foi utilizado o princípio de Arquimedes. Foram escolhidas quatro amostras de agregado graúdo (Figura 1) e nelas foi

aplicada uma camada com parafina de forma a deixá-la impermeável, evitando as mesmas de absorver água e alterar o resultado do ensaio. Usando quatro recipientes com água, com volume conhecido, colocaram-se as britas impermeabilizadas, e observou-se a quantidade de água deslocada, isso foi realizado para determinar o volume da brita. O peso específico da brita será determinado pela relação do peso da brita pelo volume encontrado, como mostrado na Tabela 1.



Figura 1 – Amostras de agregado grauído

Fonte: Os autores.

Tabela 1 – Determinação do volume do agregado grauído

Amostra	Tara (g)	Peso Bruto (g)	Volume água (mL)	Volume deslocado (mL)
1	10,27	11,32	110	4
2	12,98	13,93	110	5
3	12,41	13,50	110	6
4	6,94	10,58	110	4

Fonte: Os autores.

Cálculo da Dosagem do Concreto

Para a dosagem de um traço do concreto foi utilizado o método ABCP^[9]. Inicialmente foi realizada a definição da relação água/cimento, a partir da estimativa da resistência ou a durabilidade. Neste caso foi determinado uma resistência à compressão do concreto (f_{ck}) requerida aos 28 dias equivalente a 25 MPa e a partir da curva de Abrams foi obtido um fator água/cimento (a/c) igual a 0,59.

O consumo de água foi determinado através da dimensão máxima do agregado grauído (19mm) e da consistência do concreto (80 a 100 mm de abatimento de tronco de cone), sendo o consumo de água obtido igual a 205 L/m³. Já o consumo de cimento foi encontrado pela relação entre o consumo de água e a relação água/cimento, onde o valor encontrado foi de 341,45 Kg/m³.

O consumo de brita foi definido através dos valores do volume compactado seco do agregado grauído, pela relação da dimensão máxima característica do mesmo e do módulo de finura da areia que foi de 2,6. O consumo de brita encontrado foi da ordem de 992,6 Kg/m³.

O consumo de agregado miúdo foi definido através dos valores das massas específicas do cimento, agregados (grauídos e miúdos) e água. Por fim, com os dados descritos anteriormente foi obtido um traço do concreto em 1: 2: 2,8 e fator água/cimento de 0,59.

Modificação do pH da Água

Foi utilizado a água destilada para composição do concreto, sendo seu pH entre 5,75 a 5,46. Para realização do estudo, o pH da água foi modificado para concentrações ácidas com o ácido clorídrico (HCl) e alcalinas com o hipoclorito de Sódio (NaClO). Todas as amostras foram separadas em recipientes com volumes conhecidos e em seguida foi medido o pH de cada mistura.

As Tabelas 2 e 3 apresentam os valores de pH para perfis ácidos e básicos, respectivamente. Em seguida foram plotados gráficos volume de ácido *versus* pH (Figura 2) e volume de base *versus* pH (Figura 3), os quais foram utilizados para obter as equações que definem a proporção de ácido clorídrico e hipoclorito de sódio a serem usados para obtenção de águas com pH desejados para composição do concreto.

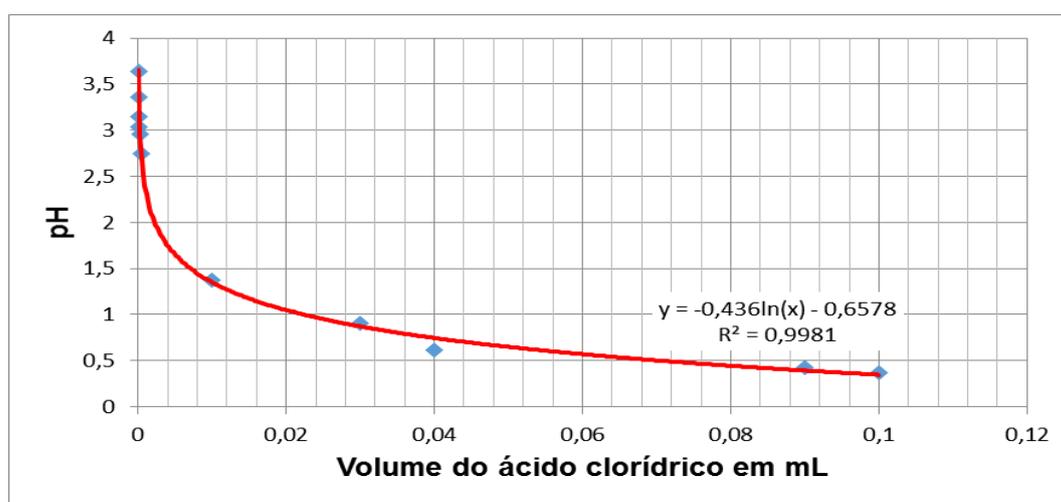
Tabela 2 – Proporção de concentrações de ácido

Relação de Concentração solução de ácido clorídrico (HCl) e variação de pH			
Volume do ácido (mL)	Volume de Água (mL)	Concentração	pH
0,1	2000	0,00005	3,64
0,2	2000	0,0001	3,36
0,3	2000	0,00015	3,15
0,4	2000	0,0002	3,04
0,5	2000	0,00025	2,96
1	2000	0,0005	2,75
20	2000	0,01	1,37
60	2000	0,03	0,9
80	2000	0,04	0,61
180	2000	0,09	0,43
200	2000	0,1	0,37

pH da água destilada sem adição do ácido clorídrico = 5.76

Fonte: Os autores

Figura 2 - Curva volume de ácido clorídrico versus pH



Fonte: o autor.

Tabela 3 – Proporções de concentrações de base

Relação de Concentração de Hipoclorito de Sódio (NaClO) e variação de pH			
Volume da base (mL)	Volume de Água (mL)	Concentração	pH
0,1	2000	0,00005	6,67
0,2	2000	0,0001	7,42
0,3	2000	0,00015	7,85
0,4	2000	0,0002	8,2
0,5	2000	0,00025	8,46
1	2000	0,0005	9,38
2	2000	0,001	9,92
3	2000	0,0015	10,13
4	2000	0,002	10,28
5	2000	0,0025	10,41
7	2000	0,0035	10,58
10	2000	0,005	10,74
15	2000	0,0075	10,93
20	2000	0,01	11,06
30	2000	0,015	11,24
40	2000	0,02	11,37

pH da água destilada sem adição do Hipoclorito de Sódio = 5.45

Fonte: Os autores.

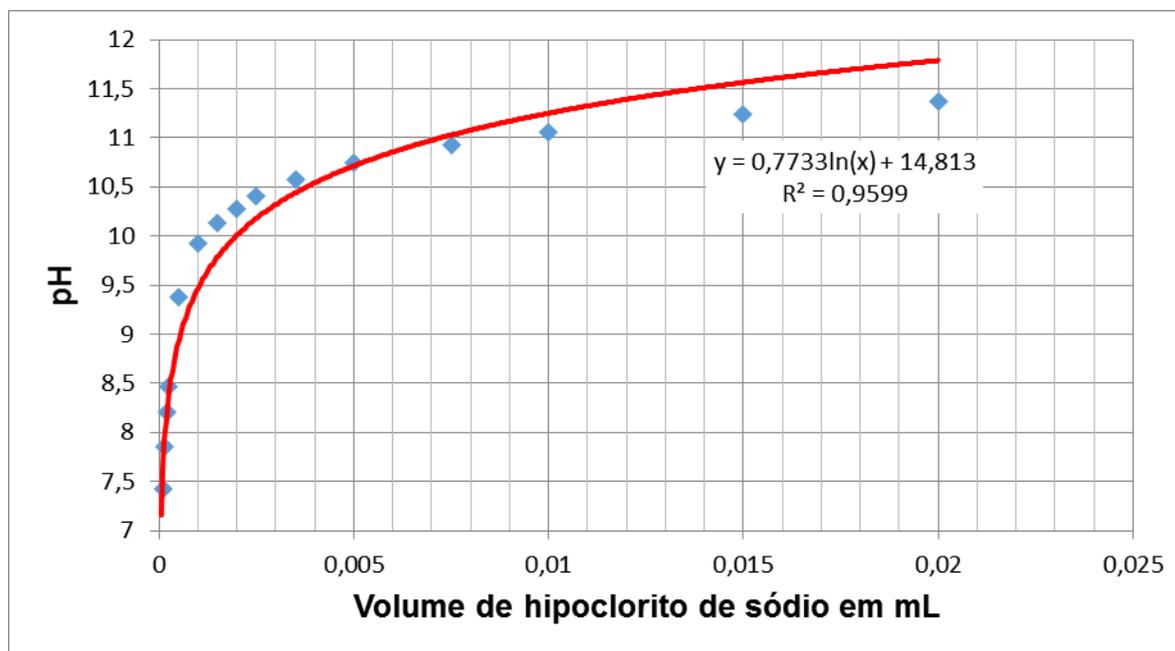


Figura 3 - Curva volume de hipoclorito de sódio versus pH

Fonte: Os autores.

Em seguida foram utilizadas as equações logarítmicas encontradas nas curvas para determinar o teor de ácido e base a serem utilizado para obtenção de águas com pH iguais a 3, 5, 7, 9 e 11. Posteriormente foram realizadas novas medidas para verificação dos valores fixados.

Moldagem dos Corpos de Prova

Os corpos de prova foram moldados seguindo a NBR 5738^[10]. Foram utilizados os equipamentos do laboratório de materiais de construção da Universidade Federal do Cariri. Os agregados e o cimento foram peados de acordo com o traço calculado anteriormente. Na Figura 4 são apresentados os equipamentos e os materiais utilizados neste procedimento.

Foi verificado para cada amostra de concreto um ensaio de plasticidade, também conhecido como *Slump Test*, de forma a realizar o controle tecnológico do concreto produzido e como forma de validação do traço elaborado/ calculado.

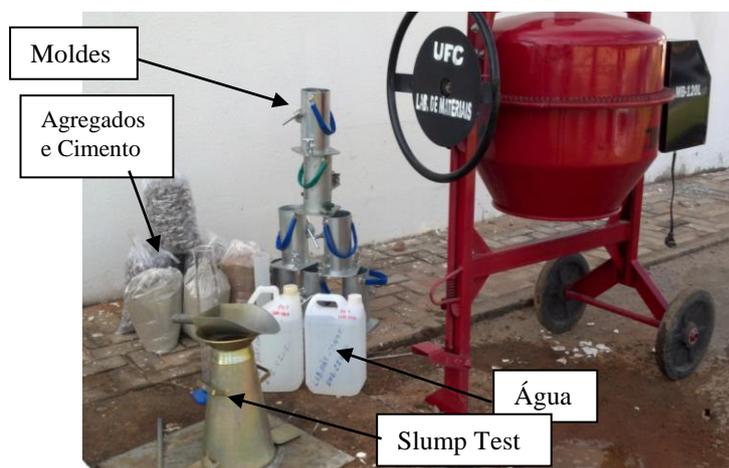


Figura 4 - Execução do concreto para moldagem dos corpos de provas

Fonte: Os autores.

Após a rotação do traço do concreto em betoneira, foram moldados os corpos de prova de seção cilíndrica de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, em duas camadas adensadas com 12 golpes cada. Foram moldados 6 corpos de prova para cada concentração de pH analisado e cada tempo de cura (3, 14 e 28 dias), totalizando 90 amostras (corpos de prova) que posteriormente foram ensaiados. Logo após a moldagem foi iniciado o processo de cura em câmara com umidade em torno de 93 a 95%.

Ensaio de Compressão

O ensaio de compressão foi realizado seguindo a normatização estabelecida na NBR – 5739^[11]. O ensaio teve o intuito de determinar a resistência de cada corpo de prova com seu respectivo pH, conforme ilustrado Figura 5. Foram calculadas as médias para cada variação de pH e tempo após desforma do concreto.



Figura 5 - Ensaio de resistência a compressão do concreto

Fonte: Os autores

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em todos as condições de potencial hidrogeniônico avaliados, não foi verificado nenhum comportamento anormal no desenvolvimento da resistência a compressão do mesmo com o passar o tempo. Isto é, houveram apenas incrementos de resistência a compressão axial do concreto ao longo do tempo, não sendo observado nenhuma perda de resistência para o mesmo pH da água entre os estágios de tempo, conforme verificado na Tabela 4. Vale ressaltar que o *slump test* dos concretos variaram entre 8,5 e 10 cm validando o calculado do traço estimado.

Tabela 4 - Resistência a compressão do concreto obtida para os diferentes pH da água

Descrição	pH = 3			pH = 5			pH = 7			pH = 9			pH = 11		
	3	14	28	3	14	28	3	14	28	3	14	28	3	14	28
Tempo (Dias)	3	14	28	3	14	28	3	14	28	3	14	28	3	14	28
Média (MPa)	12,70	21,83	27,97	11,38	17,14	28,31	10,25	16,24	27,32	11,94	23,40	24,13	14,58	18,19	20,69
Erro padrão	0,09	0,30	0,61	0,34	0,34	0,40	0,53	0,57	0,76	0,61	0,32	0,22	0,35	0,23	0,60
Mediana	12,63	22,00	27,74	11,69	17,14	28,15	10,81	16,32	27,04	11,94	23,35	24,19	14,58	18,25	20,61
Desvio padrão	0,23	0,74	1,49	0,83	0,84	0,98	1,31	1,41	1,85	1,49	0,79	0,55	0,85	0,56	1,47
Variância	0,05	0,55	2,21	0,69	0,71	0,95	1,72	1,97	3,43	2,23	0,62	0,30	0,72	0,32	2,16
CV (%)	1,83	3,40	5,31	7,31	4,92	3,45	12,78	8,65	6,78	12,51	3,37	2,26	5,83	3,09	7,11
Mínimo	12,46	20,95	26,15	9,99	15,89	27,13	7,90	14,03	25,00	9,42	22,33	23,42	13,36	17,34	18,65
Máximo	13,10	22,87	30,37	12,16	18,34	29,71	11,24	18,17	30,20	13,92	24,47	24,77	15,63	18,90	22,92

Fonte: Os autores

Segundo o relatório 214 expedido pelo comitê do *American Concrete Institute* de 2002^[13] para $f_{ck} < 34,5$ MPa em concreto executados em laboratórios, a qualidade da representatividade dos ensaios pode ser mensurada através do desvio padrão da seguinte forma: excelente para desvio padrão $< 1,4$ MPa, muito bom para desvio padrão de 1,4 a 1,7, bom para desvio padrão de 1,7 a 2,1, regular para desvio padrão de 2,1 a 2,4 e pobre para desvio padrão $> 2,4$. Dessa forma, os resultados dos ensaios de compressão para os diferentes tempos de cura e pH da água (Tabela 4) podem ser classificados de excelente a muito bom, atestando assim a qualidade dos mesmos.

Nota-se que nos casos de pH da água iguais a 3 e 9, o acréscimo de resistência entre 3 e 14 dias foi mais expressivo quando comparado entre 14 e 28 dias. Por outro lado, os casos de pH da água iguais a 5 e 7 o acréscimo de resistência é mais expressivo entre 14 e 28 dias. Já o pH igual a 11, não houve grande diferença de incrementos de resistência a compressão entre os estágios de tempo.

Esse comportamento pode indicar que em condições mais próximas da neutralidade da água do concreto, pode fazer com que o mesmo necessite de menos tempo para desenvolver sua resistência a compressão^[12].

Ao final dos 28 dias observa-se um comportamento padrão em que quanto maior o pH, ou seja, quanto mais básica é a água, menor é a resistência do concreto a compressão. No entanto, a água com pH 9 proporciona elevado ganho de resistência inicial, com tudo a resistência final não apresenta acréscimos significativos.

Verifica-se ainda que para valores de pH iguais a 5 e 7, a resistência a compressão do concreto manteve um comportamento semelhante ao longo dos dias, conforme observado na Figura 6 e na Tabela 5, é notável respectivamente uma tendência de comportamento linear diferente das demais curvas de pH onde nota-se um comportamento logarítmico. Embora o pH da água igual a 3 seja ácido, a curva resistência a compressão versus tempo apresenta comportamento logarítmico, similar as curvas de pH básico (Tabela 5).

Em condições de pH mais extremos, isto é, mais distante da neutralidade, possivelmente o incremento de resistência a compressão do concreto ao longo do tempo tende a ser menos linear^[14]. Por outro lado, quanto mais próximo da neutralidade for o pH mais linear é o incremento de resistência a compressão do concreto ao longo do tempo.

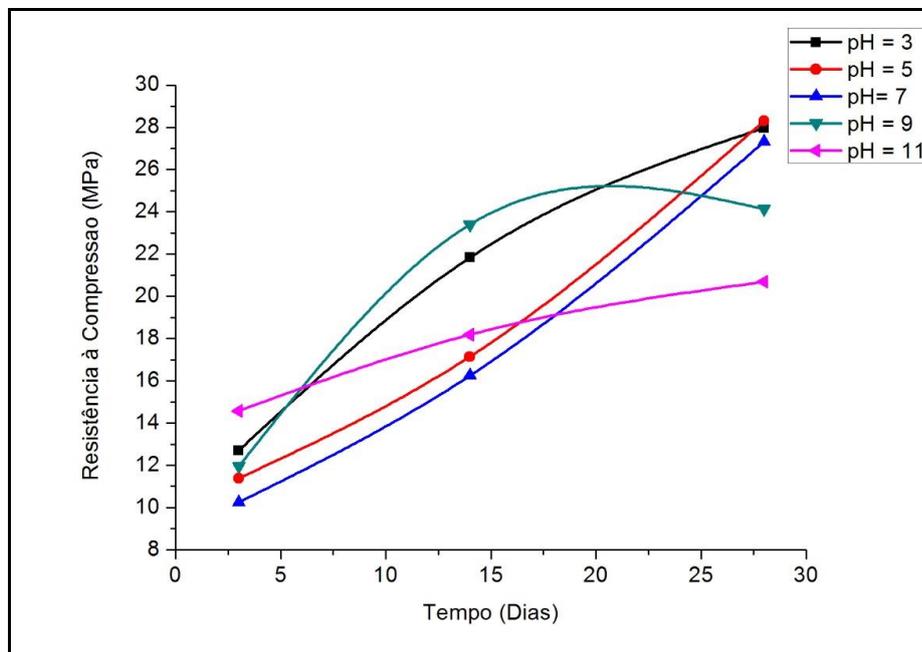


Figura 6 - Curvas Resistência versus Tempo para os diferentes pH da água
 Fonte: Os autores.

Tabela 5 - Curvas de tendência obtidas para cada pH da água

pH	a	b	R ²	Equação
3	6,6833	5,0837	0,9895	$y = a*\ln(x) + b$
5	0,6827	8,7057	0,9872	$y = a*x + b$
7	0,6874	7,6281	0,9897	$y = a*x + b$
9	5,7878	6,1861	0,9367	$y = a*\ln(x) + b$
11	2,6677	11,532	0,9876	$y = a*\ln(x) + b$

Fonte: Os autores.

Analisando em termos percentuais, constata-se que o comportamento de 3 a 14 e de 14 a 28 dias, apresentam comportamentos distintos da resistência do concreto entre os diferentes pH de águas analisadas. A partir da Figura 7, pode-se destacar que:

- Com pH 3 e 9, houve um rápido crescimento dos 3 aos 14 dias (71,90% e 95,95%, respectivamente). Particularmente, para pH 3, o aumento de resistência foi menor, dos 14 dias em diante (28,08%). E para pH 9, nesse mesmo intervalo, houve um aumento muito baixo, de apenas 3,13%;
- Para pH 5 e 7, o crescimento das resistências foi mais lento até os 14 dias (aproximadamente 50%), embora elas tenham atingido, aos 28 dias, valores bastante próximos daquele obtido com pH 3;
- O caso mais singular na análise foi realmente o pH 11. Apesar de ter apresentado o valor mais alto aos 3 dias, o crescimento total da resistência foi de apenas 49%, fato associado ainda à menor resistência final atingida.

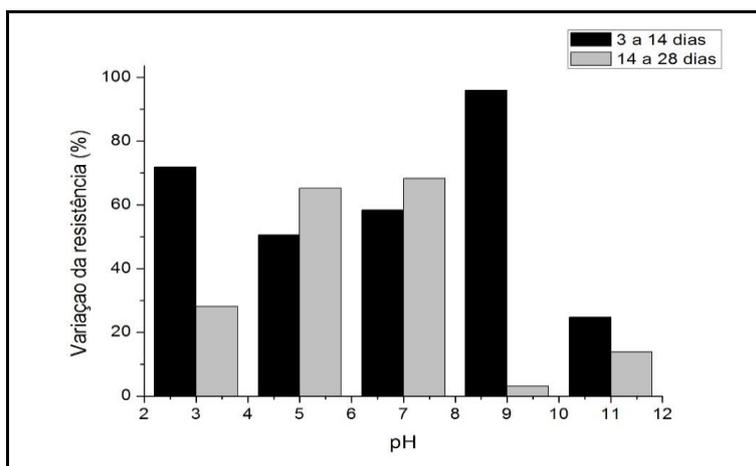


Figura 7 - Percentuais de ganho de resistência do concreto

Fonte: Os autores

Na Figura 8 observa-se que ao elevar o valor do pH, ou seja passando de ácido para básico, as resistências dos três primeiros dias apresentaram um acréscimo à medida que o pH foi se tornando mais básico, já aos quatorze dias a reação foi irregular, pois em pH mais ácidos ocorreu um decréscimo de resistência, e do pH 7 para o pH 9 a reação foi mais expressiva do que nos demais, tendo como pico no pH 9. Aos 28 dias observa-se um comportamento decrescente em relação à resistência, quanto maior o pH, ou seja, mais básica é a água, menor é a resistência do concreto a compressão.

De todas os valores de tempo os corpos de prova com 3 dias e os de 28 dias a partir do pH 7, tiveram um comportamento oposto onde a curva de 3 dias tende a apresentar um crescimento de resistência com o aumento do pH e o outro tende a apresentar um decréscimo com o aumento do pH, respectivamente.

O concreto analisado neste trabalho foi dimensionado para obter uma resistência requerida aos 28 dias de cura (fck) equivalente a 25 MPa. No entanto, os concretos com águas básicas, isto é, com pH iguais a 9 e 11 obtiveram resistência a compressão da ordem de 24,134 e 20,688, respectivamente. Isto é, não obtiveram fck para o qual o concreto foi dimensionado.

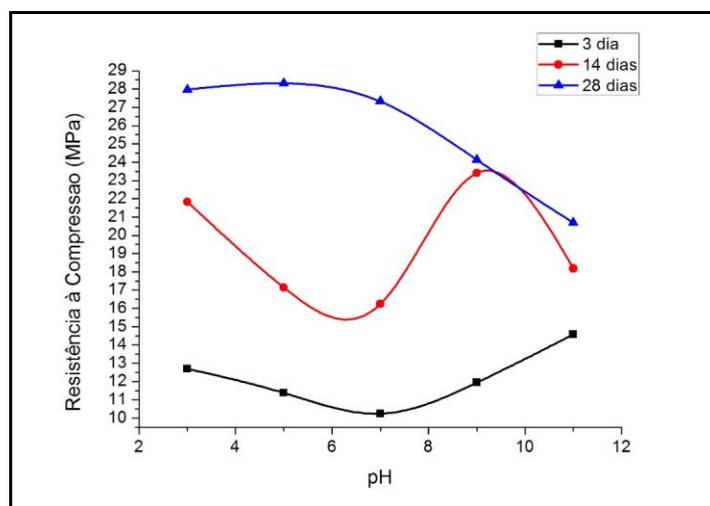


Figura 8 - pH versus Resistência a Compressão

Fonte: Os autores.

Estabelecendo uma análise de comportamento do pH 3 ao 7 e do 7 ao 11, verificam-se comportamentos distintos da resistência do concreto entre os diferentes tempos de cura analisados. De acordo com as Figuras 11 e 12, pode-se destacar que:

- Nos tempos iniciais de cura (3 e 14 dias), a resistência decresceu com o acréscimo do pH, até o pH neutro, ou seja, pH 7, a partir desse pH as resistências começam a subir de valor no mesmo instante em que os pH's se tornam mais básicos, menos o de 14 dias que tem um desvio nos pH's entre 9 e 14;
- Para as amostras das datas entre 14 e 28 dias, os pH's 5 e 7, apresentaram um crescimento das resistências (aproximadamente 50%);
- Nota-se que a resistência dos corpos de prova com tempos entre 14 e 28 dias apresentam valores aproximados no pH 9, uma diferença de 0,733MPa;
- O caso mais singular foi aos 14 dias, pois apresentou um acréscimo muito expressivo no valor da resistência em relação ao pH 7 para o pH 9, com um aumento de 30,59% na resistência a compressão, fato seguido de um decréscimo da resistência no intervalo de pH seguinte, pH 9 até pH 11, um decréscimo de 22,28%.

4. CONCLUSÕES

O desenvolvimento da resistência a compressão axial do concreto em relação ao tempo para condições de potencial hidrogeniônico próximo da neutralidade demonstrou um comportamento retilíneo. Já para condições mais extremas, tanto ácidas como básicas, o comportamento mostrou-se mais ajustável há uma curva logarítmica. Isso fez com nessas condições de potencial hidrogeniônico os incrementos de resistência a compressão fossem relativamente maiores em tempos de curas iniciais e expressivamente menores em tempos finais de cura.

A resistência final do concreto aos 28 dias demonstrou ser inversamente proporcional ao pH. As águas mais alcalinas utilizadas na composição do concreto proporcionaram uma redução da resistência a compressão aos 28 dias, não sendo atingido o fck do dimensionamento do traço do concreto.

REFERÊNCIAS

- [1] LEONHARDT, F; MÖNNIG, E. **Construções de Concreto: Princípios Básicos do dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado**. Vol. 1. Trad: David Fridman. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.
- [2] BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. vol. 2. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- [3] ASLANI, F; NEJADI, S. Mechanical properties of conventional and self-compacting concrete: An analytical study. **Construction and Building Materials**, v. 36, p. 330-347, 2012.
- [4] BELLAMKONDA, S.A., "Modeling of Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Retrofitted with Externally Bonded Fiber Reinforced Polymers," Master thesis, Louisiana State University, 2013.

- [5] PAULA, H. M; ILHA, M. S. O; ANDRADE, L. S. Chemical coagulants and Moringa seed extract for treating concrete wastewater. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 38, p. 57-64, 2016.
- [6] DINAKAR, P; REDDY, M. K; SHARMA, M. Behaviour of self compacting concrete using Portland pozzolana cement with different levels of fly ash. **Material and Design**, v. 46, p. 609-616, 2013.
- [7] SPERLING, M. **Introdução ao tratamento das águas e ao tratamento de esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.
- [9] ASSUNÇÃO, J. W.; **Curvas de dosagem para concretos convencionais e aditivados confeccionados com materiais da região Noroeste do Paraná**. 2002. 254f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- [12] SILVA, P; BRITO, J. Experimental study of the mechanical proprieties and shrinkage of self-compacting concrete with binary and ternary mixes of fly ash and limestone. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, 2016.
- [13] ACI COMMITTEE 214. **Evaluation of Strength Test Results of Concrete (ACI 214R-02)**. American Concrete Institute, 2002.
- [14] YILDIRIM, H; SENGUL, O. Modulus of elasticity of substandard and normal concretes. **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 1645-1652, 2011.