



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

LARA POLIANA MELO GOMES

**ANÁLISE DO USO DE INDICADOR NATURAL DE PH À BASE DE  
BETALAÍNA EM COMPARAÇÃO COM A FENOLFTALEÍNA PARA A  
AVALIAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO DO CONCRETO**

PAU DOS FERROS-RN

2020

LARA POLIANA MELO GOMES

**ANÁLISE DO USO DE INDICADOR NATURAL DE PH À BASE DE  
BETALAÍNA EM COMPARAÇÃO COM A FENOLFTALEÍNA PARA A  
AVALIAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO DO CONCRETO**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Renata Jully Nunes Xavier  
– UFERSA.

PAU DOS FERROS-RN

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS

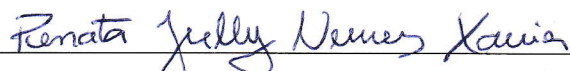
**ANÁLISE DO USO DE INDICADOR NATURAL DE PH À BASE DE  
BETALAÍNA EM COMPARAÇÃO COM A FENOLFTALEÍNA PARA A  
AVALIAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO DO CONCRETO**

LARA POLIANA MELO GOMES

Monografia apresentada à Banca Examinadora  
do Curso de Engenharia Civil, da Universidade  
Federal Rural do Semi-Árido em cumprimento  
às exigências legais como requisito parcial à  
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia  
Civil.

APROVADA EM: 05 / 02 / 2020

Banca Examinadora:



Profª. Renata Jully Nunes Xavier

(Orientadora – UFERSA – Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros)



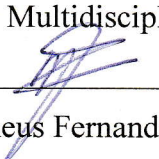
Prof. Dr. José Flávio Timóteo Junior

(UFERSA – Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros)



Prof. Esp. Fabíola Luana Maia Rocha

(UFERSA – Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros)

  
Prof. Dr. Matheus Fernandes de Araújo Silva

(UFERSA – Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros)

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

G633a Gomes, Lara Poliana Melo .  
Análise do uso de indicador natural de pH à  
base de betalaína em comparação com a fenolftaleína  
para a avaliação da profundidade de carbonatação do  
concreto / Lara Poliana Melo Gomes. - 2020.  
48 f. : il.

Orientadora: Renata Jully Nunes Xavier.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,  
2020.

1. Beterraba. 2. Carbonatação. 3. Concreto. 4.  
Extração. 5. pH. I. Xavier, Renata Jully Nunes ,  
orient. II. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por sempre me abençoar e proteger, guiando-me em todos os caminhos.

Aos meus pais, que sempre acreditaram em mim, mesmo quando eu não acreditava e me deram forças para continuar essa jornada, me apoiando com carinho, amor e dedicação.

As minhas irmãs que mesmo de longe me mandam forças e me apoiam.

A minha segunda família, Kátia Queiroz, Tone Ewerton e Beatriz Queiroz, que me receberam de braços abertos na sua casa em Pau dos Ferros quando precisei.

As minhas três amigas, Sthéphanie Martins, Paula Vitória e Victória Rêgo, que me acompanham nos bons e maus momentos desde pequenas, me motivando e acreditando no meu potencial. Tenho certeza que posso contar com vocês a qualquer momento.

As minhas outras amigas que também fizeram parte me apoiando em vários momentos, Luana Fernandes, Liliane Maia, Maize Melo, Mariane Melo. Obrigada por sempre estarem comigo.

Meu especial agradecimento a minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Renata Jully Nunes Xavier pela paciência, amizade, palavras de incentivo, pelas orientações e leituras criteriosas, contribuições valiosas no trabalho. E também ao Prof. Dr. José Flávio Timóteo Junior, Prof. Dr. Matheus Fernandes de Araújo Silva e Prof<sup>a</sup>. Esp. Fabíola Luana Maia Rocha por aceitar fazer parte da banca examinadora. Que Deus abençoe todos.

Aos meus colegas de faculdade, Mariana Lopes, Dhiogo Samuel, Victor Ezequiel, Waleskha Benevenuto, Isis Costa, Simone Gameleira, Orlando Gondim, Renê de Sá, Álvaro Felipe, Tairine Brilhantes.

## RESUMO

O concreto pode ser afetado pela carbonatação, processo que ocorre devido à penetração do  $\text{CO}_2$  no concreto e sua reação com os produtos hidratados do cimento, podendo causar danos e prejudicar a durabilidade da estrutura devido à diminuição da alcalinidade. Por isso, é imprescindível determinar a profundidade de carbonatação por meio de ensaios com indicadores de pH, principalmente a fenolftaleína, que apesar de eficiente, é considerada como um líquido inflamável, podendo provocar defeitos genéticos e câncer. A partir dessas questões, o trabalho teve como objetivo verificar a possibilidade de substituir a fenolftaleína por um indicador natural a base de beterraba, composto por betalaínas. Para este propósito, foram realizadas pesquisas bibliográficas, bem como uma pesquisa experimental, em que foram obtidos dois extratos da beterraba, por extração *in natura* e alcoólica e, por último, realizado uma análise visual. Identificou-se que o extrato aquoso é vermelho em soluções ácidas e verde amarelado em soluções básicas, e o extrato alcoólico apresentou para pH ácido vermelho claro e verde amarelado para pH básico. No ensaio de carbonatação, os extratos apresentaram na área não carbonatada o verde e vermelho na carbonatada, que foi praticamente imperceptível, sendo melhor visualizada quando aplicada o extrato alcoólico. De acordo com os dados obtidos, verificou-se que os dois tipos de extratos apresentam uma boa variação de cor em relação a diferentes pHs, no entanto, concluiu-se que o indicador de beterraba não apresenta a mesma eficácia para medição da profundidade da carbonatação quando comparada à fenolftaleína.

**Palavras-chaves:** Beterraba; Carbonatação; Concreto; Extração; pH.

## ABSTRACT

The concrete affected can be by carbonation, a process that occurs due to the penetration of CO<sub>2</sub> into concrete and its reaction with hydrated cement products, which can cause damage and impair the durability of the structure due to decreased alkalinity. Therefore, it is essential to determine the depth of carbonation through tests with pH indicators, especially phenolphthalein, which, despite being efficient, considered as a flammable liquid, which can cause genetic defects and cancer. Based on these questions, the work aimed to verify the possibility of replacing phenolphthalein with a natural indicator based on beet, composed of betalains. Because of that, bibliographic research was carried out, as well as an experimental research, in which two beet extracts were obtained, by fresh and alcoholic extraction and, finally, a visual analysis was carried out. It was identified that the aqueous extract is red in acidic solutions and yellowish green in basic solutions, and the alcoholic extract presented for acid pH light red and yellowish green for pH basic. In the carbonation test, the extracts showed green in the non-carbonated area and red in the carbonated area, which was practically imperceptible, being better, visualized when the alcoholic extract applied. According to the data obtained, it was found that the two types of extracts have a good color variation in relation to different pHs, however, it was concluded that the beet indicator does not have the same effectiveness for measuring the depth of carbonation when compared to phenolphthalein.

**Keywords:** Beet; Carbonation; Concrete; Extraction; pH.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1:</b> Esquema do Fenômeno de Carbonatação .....                                                             | 16 |
| <b>Figura 2:</b> Estrutura da Fenolftaleína na faixa de $0 < \text{pH} < 8$ .....                                      | 20 |
| <b>Figura 3:</b> Estrutura das Antocianinas .....                                                                      | 21 |
| <b>Figura 4:</b> Escala de pH do extrato de Repolho Roxo .....                                                         | 23 |
| <b>Figura 5:</b> Berinjela.....                                                                                        | 24 |
| <b>Figura 6:</b> Teste positivo da berinjela como indicador .....                                                      | 25 |
| <b>Figura 7:</b> Escala de variação de pH 12 a 1 do extrato de Berinjela.....                                          | 25 |
| <b>Figura 8:</b> Escala de variação de pH 12 a 1 do extrato de Feijão preto .....                                      | 26 |
| <b>Figura 9:</b> Teste positivo do Feijão vermelho como indicador.....                                                 | 26 |
| <b>Figura 10:</b> Fórmula Geral das Betalaínas.....                                                                    | 27 |
| <b>Figura 11:</b> Fluxograma .....                                                                                     | 31 |
| <b>Figura 12:</b> Corpos de prova utilizados .....                                                                     | 32 |
| <b>Figura 13:</b> Beterraba Cortada .....                                                                              | 32 |
| <b>Figura 14:</b> Pesagem da amostra de beterraba .....                                                                | 33 |
| <b>Figura 15:</b> Extrato Aquoso .....                                                                                 | 34 |
| <b>Figura 16:</b> Extrato Alcoólico.....                                                                               | 34 |
| <b>Figura 17:</b> Representação das colorações do extrato aquoso obtidas pela variação do pH ....                      | 35 |
| <b>Figura 18:</b> Representação das colorações do extrato alcoólica obtidas pela variação do pH .                      | 35 |
| <b>Figura 19:</b> Representação das colorações da fenolftaleína obtidas pela variação do pH.....                       | 36 |
| <b>Figura 20:</b> Núcleos de concreto 1 (a) com solução aquosa de beterraba e (b) com solução de fenolftaleína. ....   | 37 |
| <b>Figura 21:</b> Núcleos de concreto 2 (a) com solução aquosa de beterraba e (b) com solução de fenolftaleína. ....   | 37 |
| <b>Figura 22:</b> Núcleos de concreto 3 (a) com solução aquosa de beterraba e (b) com solução de fenolftaleína.....    | 38 |
| <b>Figura 23:</b> Núcleos de concreto 1 (a) com solução alcoólica de beterraba e (b) com solução de fenolftaleína..... | 38 |
| <b>Figura 24:</b> Núcleos de concreto 2 (a) com solução alcoólica de beterraba e (b) com solução de fenolftaleína..... | 39 |
| <b>Figura 25:</b> Núcleos de concreto 3 (a) com solução alcoólica de beterraba e (b) com solução de fenolftaleína..... | 39 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1:</b> Antocianinas encontradas em famílias de plantas ..... | 22 |
|------------------------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                      |   |                          |
|----------------------|---|--------------------------|
| $\text{CO}_2$        | – | Dióxido de Carbono       |
| $\text{SO}_2$        | – | Dióxido de enxofre       |
| $\text{CaCO}_3$      | – | Carbonato de Cálcio      |
| $\text{Ca(OH)}_2$    | – | Hidróxido de Cálcio      |
| $\text{NaOH}$        | – | Hidróxido de Sódio       |
| $\text{KOH}$         | – | Hidróxido de Potássio    |
| $\text{H}_2\text{S}$ | – | Gás Sulfídrico           |
| $\text{H}_2\text{O}$ | – | Água                     |
| $\text{H}^+$         | – | Íon Hidrônio             |
| $\text{OH}^-$        | – | Íon Hidróxido            |
| pH                   | – | Potencial Hidrogeniônico |
| %                    | – | Por cento                |
| g                    | – | Gramas                   |
| cm                   | – | Centímetros              |
| ml                   | – | Mililitro                |

## SUMÁRIO

|                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                              | <b>13</b> |
| <b>2 OBJETIVOS .....</b>                                                               | <b>15</b> |
| 2.1 OBJETIVO GERAL .....                                                               | 15        |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                                        | 15        |
| <b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                                     | <b>16</b> |
| 3.1 CARBONATAÇÃO .....                                                                 | 16        |
| 3.2 EFEITOS DA CARBONATAÇÃO NO CONCRETO .....                                          | 17        |
| 3.3 ENSAIOS PARA MEDIR A PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO .....                            | 18        |
| 3.4 COMPOSTOS QUÍMICOS INDICADORES DE PH .....                                         | 18        |
| <b>3.4.1 Fenolftaleína .....</b>                                                       | <b>19</b> |
| <b>3.4.2 Timolftaleína .....</b>                                                       | <b>20</b> |
| 3.5 INDICADORES NATURAIS DE PH .....                                                   | 21        |
| <b>3.5.1 Antocianinas .....</b>                                                        | <b>21</b> |
| 3.5.1.1 Repolho Roxo .....                                                             | 23        |
| 3.5.1.2 Berinjela .....                                                                | 23        |
| 3.5.1.3 Feijão .....                                                                   | 25        |
| 3.6 BETALAÍNAS .....                                                                   | 27        |
| <b>3.6.1 Beterraba .....</b>                                                           | <b>28</b> |
| <b>4 METODOLOGIA .....</b>                                                             | <b>30</b> |
| 4.1 MATERIAIS E MÉTODOS .....                                                          | 31        |
| <b>4.1.1 Obtenção dos Corpos de prova .....</b>                                        | <b>31</b> |
| <b>4.1.2 Obtenção dos Extratos .....</b>                                               | <b>32</b> |
| <b>4.1.3 Ensaio de Carbonatação .....</b>                                              | <b>33</b> |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>                                                 | <b>34</b> |
| 5.1 COMPARAÇÃO DA VARIAÇÃO DE COLORAÇÃO DO INDICADOR NATURAL COM A FENOLFTALEÍNA ..... | 34        |

|                                                                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE CARBONATAÇÃO DO CONCRETO PELO INDICADOR NATURAL DE PH COM OS OBTIDOS COM A FENOLFTALEÍNA..... | 36        |
| <b>6 CONCLUSÃO.....</b>                                                                                                                          | <b>40</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                                                                                          | <b>41</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto é muito utilizado na construção civil, sendo encontrado nos edifícios, rodovias, pontes, obras de saneamento e entre outros, destacando-se pela sua resistência e plasticidade (IBRACON, 2009). No entanto, essas estruturas podem ser afetadas pela carbonatação, causando a diminuição do pH da água dos poros da pasta de cimento, o que pode acarretar em vários danos e comprometer a durabilidade da estrutura (NEVILLE, 2016).

A carbonatação ocorre a partir da superfície do concreto e vai penetrando no seu interior. Trata-se de um processo físico-químico, em que o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) reage com os produtos hidratados do cimento, como hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), gerando como produto da reação o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e assim, reduzindo a alcalinidade do concreto (POSSAN, 2010).

No caso do concreto armado, que é formado por concreto e aço, a diminuição do pH pela carbonatação faz com que a camada de óxido (passivação) que protege o aço contra a corrosão seja removida, deixando-o vulnerável às reações. Dessa forma, se torna importante determinar a profundidade de carbonatação a qual o concreto está exposto, com objetivo de verificar se as armaduras serão atingidas (NEVILLE, 2016).

Nesse contexto, existem várias medidas para se conhecer a profundidade de carbonatação, dentre elas: uso dos indicadores de pH, do microscópio petrográfico, análise térmica diferencial e variação de massa (KULAKOWSKI, 2002).

Para a determinação da frente de carbonatação a medida mais usada é o ensaio com indicadores químicos de pH (geralmente é empregada a fenolftaleína), devido ao seu baixo custo e praticidade de aplicação (PAULETTI, 2004). Em acréscimo, segundo Forrester (1976) também são utilizados a timolftaleína, o amarelo de alizarina R e o *Napthol green B*.

A fenolftaleína é um indicador químico de pH que em uma solução a 1% em álcool etílico apresenta uma coloração vermelho-carmim nos valores de pH superiores a 9,5, incolor em valores inferiores a 8,3 e entre 8,0 e 9,5 varia de rosa a vermelho-carmim (ANDRADE, 1992). Já Neville (2016) apresenta que para valores superiores a 9,5 a coloração é rosa, indicando no ensaio de carbonatação a parte não carbonatada e a incolor significa que o concreto está carbonatado.

No entanto, de acordo com classificação do regulamento (CE) nº 1272/2008, a fenolftaleína pode causar câncer (H350), sendo também um líquido inflamável categoria 3 (H226), além de estar associada à formação de defeitos genéticos (H341) (PARLAMENTO EUROPEU, 2008).

Existem também os indicadores naturais que são obtidos a partir de extratos vegetais, como repolho roxo, uva, berinjela, beterraba, entre outras (SOARES, 2010). Esses indicadores são relatados pela literatura como alternativas de fácil aquisição para identificação de alteração de pH (UCHÔA *et al.*, 2016).

A beterraba é a principal fonte de betalaínas, estas são pigmentos que produzem a coloração em flores e frutas (VOLP; RENHE; STRINGUETA, 2009), e apresentam um alto poder de corante, com uma coloração fixa numa faixa de pH de 4 a 7 (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). Segundo Dias, Guimarães e Merçon (2003) a beterraba pode ser usada como indicador de pH, devido a variação de coloração que a substância apresenta, quando exposta a mudanças de pH.

Diante do exposto, este trabalho foi direcionado a verificar a possibilidade de aplicação do indicador natural de pH a base de beterraba, composto da substância betalaína, como substituto da fenolftaleína no ensaio para determinar a profundidade de carbonatação no concreto.

## 2 OBJETIVOS

Os objetivos que se deseja atingir com o presente trabalho são expostos a seguir:

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Esse trabalho tem como objetivo geral verificar a viabilidade de aplicação do indicador natural de pH que possui betalaína em sua composição como substituto da fenolftaleína no ensaio de carbonatação em corpos de prova de concreto.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

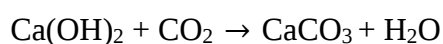
- Realizar em laboratório a extração de dois indicadores de pH, por via aquosa e alcoólica, a partir da betalaína presente na beterraba;
- Verificar a variação de coloração do indicador da Beterraba a partir da alteração de pH, a fim de validar os resultados de Dias, Guimarães e Merçon (2003);
- Realizar o ensaio de carbonatação com os dois tipos de extratos do indicador natural de pH em corpos de prova de concreto;
- Comparar os resultados obtidos no ensaio pelo indicador natural de pH com os obtidos com a fenolftaleína.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 CARBONATAÇÃO

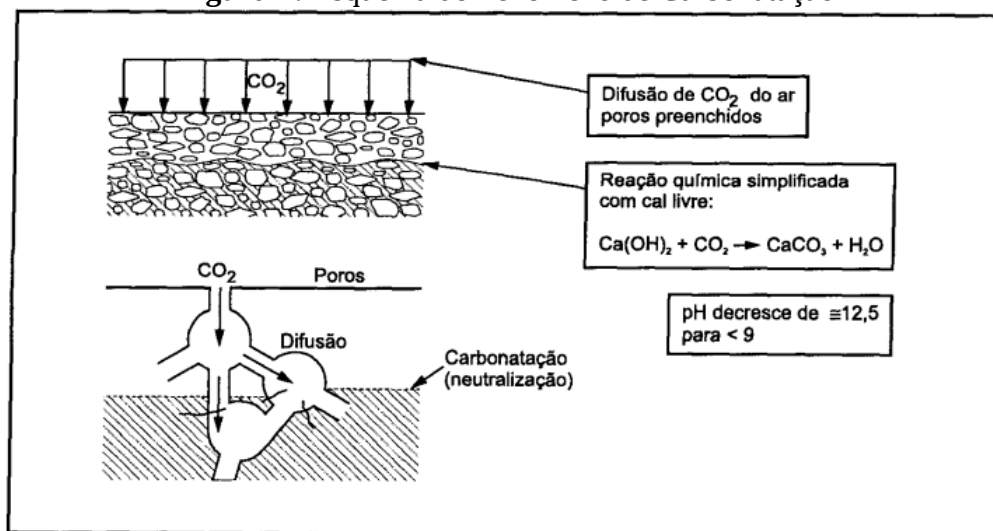
Conforme Kulakowski (2002) a carbonatação é um fenômeno físico-químico que ocorre a partir da reação entre os gases ácidos que provêm do ambiente e entra pelos poros do concreto, e os compostos hidratados da pasta de cimento como o hidróxido de potássio (KOH), hidróxido de sódio (NaOH) e hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), que formam produtos de pH inferior a 9. Nesta reação os gases ácidos que carbonatam o concreto são o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) (HELENE, 1993).

A reação principal de carbonatação acontece entre  $\text{CO}_2$  e  $\text{Ca(OH)}_2$ , produzindo o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) (KULAKOWSKI, 2002), como mostrado na equação abaixo.



De acordo com Silva (2007), em estruturas de concreto expostos a ambientes na presença de dióxido de carbono, a carbonatação ocorre naturalmente, sendo disseminada pela influência da umidade dos poros primeiramente na superfície do concreto, formando a frente de carbonatação. Depois o  $\text{CO}_2$  tende a avançar para o interior do concreto dando continuidade a este processo. A Figura 1, mostra o esquema do fenômeno de carbonatação.

**Figura 1:** Esquema do Fenômeno de Carbonatação



Fonte: Cascudo (1997) *apud* Martinelli Júnior (2010).

A velocidade do processo de carbonatação ocorre em função da difusão de CO<sub>2</sub> no concreto, da umidade relativa, do tempo de exposição, da relação água/cimento, do tipo de cimento, da permeabilidade do concreto e da forma de cura utilizada (LAPA, 2008).

Para Amorim (2010), a velocidade de carbonatação também depende das características do concreto endurecido, como a composição química do cimento, traço do concreto, execução e qualidade da cura.

Além disso, a carbonatação pode ser relacionada à resistência a compressão e à porosidade, visto que o aumento dessa implica no crescimento da profundidade de carbonatação enquanto é mantida constante a resistência, porém, sabe-se que quanto maior a resistência à compressão, menor será a porosidade e menor a profundidade de carbonatação, de modo que a resistência mecânica não se apresenta como parâmetro para o controle do fenômeno de carbonatação (ATIS, 2004).

### 3.2 EFEITOS DA CARBONATAÇÃO NO CONCRETO

A carbonatação altera a permeabilidade e porosidade do concreto, a primeira é alterada juntamente com a densidade e volume, e a segunda tende a diminuir devido a precipitação do carbonato de cálcio nos poros do concreto (BERTOS *et al.*, 2004). Este fenômeno também contribui para a retração do concreto causando as fissuras superficiais no mesmo (TAYLOR, 1997).

Segundo Lapa (2008), quando a relação a/c aumenta, a permeabilidade e a profundidade de carbonatação também aumentam, devido a maior capacidade de difusão do CO<sub>2</sub> no concreto.

Em relação a cura do concreto, quando há deficiência nesse processo, o concreto pode apresentar fissuras, o que facilita a entrada do CO<sub>2</sub>. Cimentos mais finos contribuem para diminuir a profundidade de carbonatação (LAPA, 2008).

Além disso, em se tratando de concretos armados, a precipitação do carbonato de cálcio gera uma redução nos valores de pH do corpo, de modo que o concreto fica vulnerável ao avanço progressivo da carbonatação, que ao chegar à armadura causa corrosão e gera a consequente despassivação do concreto (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Isto ocorre por causa da remoção da película de passivação do aço (TUUTTI, 1982).

O concreto possui um pH da ordem de 12,5, principalmente devido ao Ca(OH)<sub>2</sub>. No entanto, com desaparecimento do hidróxido de cálcio do interior dos poros da pasta de cimento hidratado, transformando-se em carbonato de cálcio causa a diminuição do pH para

9,4, fator importante para o início da corrosão das armaduras (LAPA, 2008). Já de acordo com Souza e Ripper (1998), antes do processo de carbonatação o pH do concreto fica entre 12,5 e 14, e ao se carbonatar o valor diminui para 9.

### 3.3 ENSAIOS PARA MEDIR A PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

Existem diversos métodos para determinar a profundidade de carbonatação, como a petrografia, diferença de massa, difração por Raios-X, análise térmica diferencial, termogravimetria, determinação do pH com titulação da solução dos poros e espectrofotometria no infravermelho (PAULETTI, 2004).

Outros métodos para medir a profundidade de carbonatação, são os indicadores ácido/base, a análise mineralógica, radiografia de neutron, dióxido de carbono radioativo, microscopia infravermelha e análise química (RICHARDSON, 1988 *apud* BOURGUIGNON, 2004).

Para Helene (1993) o estudo de seções microscópicas, com o auxílio de prismas de Nicol, é o método que fornece uma determinação mais precisa desta profundidade. No entanto, geralmente são usados os indicadores de pH, através da realização do ensaio que consiste em aspergir uma solução sobre a superfície fraturada de concreto.

Conforme Helene (1993, p.54) “Podem ser empregados com sucesso, indicadores químicos a base de fenolftaleína, timolftaleína ou equivalentes comerciais que indiquem mudança de pH entre 8 e 11”.

### 3.4 COMPOSTOS QUÍMICOS INDICADORES DE PH

Terci e Rossi (2002) descrevem que:

Indicadores visuais são substâncias capazes de mudar de cor dependendo das características físico-químicas da solução na qual estão contidos, em função de diversos fatores, tais como pH, potencial elétrico, complexação com íons metálicos e adsorção em sólidos.

Wilhelm Ostwald (1894) acreditava na teoria iônica dos indicadores, segundo a qual os indicadores são bases ou ácidos fracos cuja cor das moléculas não dissociadas difere da cor dos respectivos íons. Outra teoria, é a teoria cromófora, explica que coloração das substâncias é devido às moléculas apresentarem certos grupos de átomos ou ligações duplas nas moléculas.

Esta teoria ainda explica que por haver reagrupamento molecular determinado pela variação das condições de pH do meio, os indicadores mudam de cor (FARIAS, 2012).

Os indicadores de pH também podem ser chamados de indicadores ácido-base, definidos como substâncias orgânicas fracamente ácidas ou fracamente básicas, o que significa que são indicadores ácidos e básicos, que apresentam cores diferentes para cada valor de pH (BÁNYAI, 1972). Para Chang (2010) os indicadores são substâncias que possuem cores diferentes no meio ácido e básico.

Para Atkins e Jones (2012) um indicador ácido-base é um ácido fraco que tem uma cor na forma de ácido (HIn) e outra na forma de base conjugada (In<sup>-</sup>) e por isso, muda de cor com o pH, isto acontece devido ao próton mudar a estrutura da molécula de HIn e fazer a absorção da luz ser diferente na forma HIn e na In<sup>-</sup>.

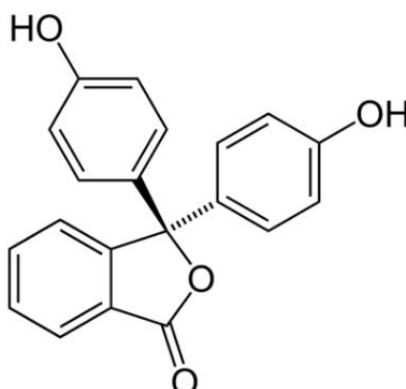
Desde os tempos antigos descobriu-se que os extratos de algumas plantas mudam de cor quando em contato com ácidos ou bases, como Litmus, curcuma, xarope de violeta, entre outros, que foram utilizados como indicadores. Então, com estas descobertas, em 1877 foi obtido o primeiro indicador sintético, a fenolftaleína, e em seguida a tropeolina, laranja de metila, etc (JOHANSSON, 1988).

Nos laboratórios são utilizados os indicadores artificiais como a fenolftaleína, timolftaleína, alaranjado de metila, azul de bromotimol, papel de tornassol. No entanto, os extratos de repolho roxo, beterraba, berinjela, feijão, batata doce rosa podem ser usados como indicadores naturais (UCHÔA *et al.*, 2016; SANTOS, 2017).

### 3.4.1 Fenolftaleína

A fenolftaleína é um composto orgânico que possui a fórmula condensada C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>, formado por condensação de anidrido ftálico com fenol, na presença de ácido sulfúrico concentrado, e usando como catalisadores da reação uma mistura de cloretos de alumínio e zinco, apresenta uma estrutura dinâmica, que sofre alterações dependendo do pH do seu ambiente. A Figura 2 mostra a estrutura da fenolftaleína na faixa de 0 < pH < 8, composta por quatro anéis, dos quais três são aromáticos e hexagonais, e um é pentagonal. (BOLIVAR, 2018?).

**Figura 2:** Estrutura da Fenolftaleína na faixa de  $0 < \text{pH} < 8$



Fonte: Bolivar (2018?).

A fenolftaleína é um indicador sintético que se ioniza ao se dissolver em água, originando íons  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$  que estabelecem um equilíbrio em meio aquoso (SOUZA, S. d.). É um dos indicadores mais utilizados, apresentando coloração rosa em soluções básicas e incolor em soluções ácidas, com um ponto de viragem em pH de cerca de 8,3 (CHANG, 2010).

De acordo com classificação do regulamento (CE) nº 1272/2008 a fenolftaleína pode causar câncer (H350), é um líquido inflamável categoria 3 (H226) e pode provocar defeitos genéticos (H341) (PARLAMENTO EUROPEU, 2008).

### 3.4.2 Timolftaleína

A timolftaleína é obtida a partir de anidrido ftálico e timol, é um indicador de pH com o nome científico: 3,3-bis [4-hidroxi-2-metil-5- (1-metil) fenil] -1 (3H) -isobenzofuranona (GIL, S. d.) e a sua fórmula química é  $\text{C}_{28}\text{H}_{30}\text{O}_4$  (ANIDROL PRODUTOS PARA LABORATÓRIOS, 2015).

Apresenta um coloração vermelho intenso em pH menores do que zero, sendo incolor numa faixa de pH 1 a 9,2, podendo mudar sua coloração para azul em um intervalo de viragem entre 9,3 e 10,5 (GIL, 2019?). Ainda de acordo com Gil (2019?), além de ser utilizado como indicador, é usado como cromogênio em algumas reações colorimétricas quando se quer analisar uma atividade enzimática. É considerado menos tóxico em comparação a outros indicadores, já que nenhum efeito cancerígeno ou mutagênico foi atribuído até agora, porém, pode causar vermelhidão quando em contato com a pele e as mucosas.

### 3.5 INDICADORES NATURAIS DE PH

Antunes (2013, p. 21) define que “os indicadores naturais são substâncias coradas extraídas de uma matéria-prima animal ou vegetal através de processos físico-químicos (dissolução, precipitação, entre outros) ou bioquímicos (fermentação).”

A utilização de indicadores naturais de pH foi introduzida no século XVII por Robert Boyle, quando preparou um licor de violeta, e verificou que o extrato desta flor mudava de coloração para vermelho em solução ácida e verde em solução básica. Com isso, Boyle definiu ácido como qualquer substância que torna vermelho e as bases como substância que torna verde os extratos das plantas (TERCI; ROSSI, 2002).

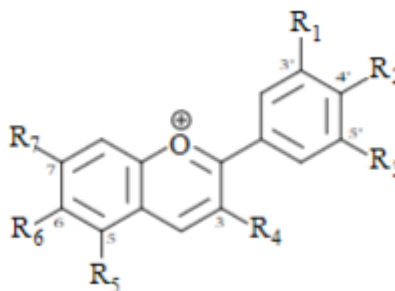
Desta forma, Boyle tornou frequente o uso de extratos de plantas como indicadores, o que na química do século XVIII passou a ser uma prática comum, principalmente nos processos de titulação (MAAR, 1999).

Os indicadores naturais possuem um pH próximo ao pH neutro e quando adicionados a uma solução, ligam-se a íons  $H^+$  ou  $OH^-$ , esta ligação provoca uma mudança na configuração eletrônica destes extratos, sendo um dos principais motivos da variação de coloração presente no meio (LIMA, 2013 apud UCHÔA *et al.*, 2016).

#### 3.5.1 Antocianinas

Antocianina é um termo grego no qual, anthos, uma flor, e kyanos, azul escuro (HARBORNE, GRAYER, 1988). Apresentam na sua estrutura 15 átomos de carbono com o cátion flavílico (2-fenilbenzopirílio), hidroxilas livres nas posições 3, 5 e 7, na qual os substituintes que se ligam definem a estrutura de cada antocianina e um ácido orgânico (SANTOS, 2017), como mostrado na Figura 3.

**Figura 3:** Estrutura das Antocianinas



Fonte: Santos (2017).

As antocianinas pertencem ao grupo dos flavonoides derivada das antocianidinas e é responsável pela proteção da semente devido ter características angiospermas (SANTOS, 2017). São baseadas principalmente em seis antocianidinas: pelargonidina, cianidina, peonidina, delphinidina, petunidina e malvidina (HENRY, 1996).

A classe do flavonóides a que as antocianinas fazem parte são distribuídas na natureza e é devido a elas que as flores e frutos apresentam a coloração azul, violeta e tonalidades de vermelho (CURTRIGHT; RYNEARSON; MARKWELL, 1996). Existem mais de 4.000 flavonóides, e cerca de 260 são antocianinas (FRANCIS, 1989).

São encontradas em todas as partes das plantas, estando presente principalmente em flores e frutos (BROUILLARD, 1982). Na tabela 1, possuem algumas antocianinas encontradas nas diversas famílias de plantas.

**Tabela 1:** Antocianinas encontradas em famílias de plantas

| <b>ANTOCIANINAS</b>                           | <b>FONTE</b>                                                |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Cianidina-3-glicosídeo                        | Uva, vinho, cereja, jabolão, morango, amora, maçã, azeitona |
| Cianidina-3,5-diglicosídeo                    | Uva, vinho, cereja, figo, marmelo                           |
| Peonidina-3-glicosídeo                        | Uva, vinho, cereja, jabuticaba                              |
| Malvidina-3-glicosídeo                        | Uva, vinho                                                  |
| Malvidina-3,5-diglicosídeo                    | Uva, vinho, feijão, inhame                                  |
| Cianidina-3-galactosídeo                      | Maçã, cacau                                                 |
| Cianidina-3-p-cumarilsoforosídeo-5-glicosídeo | Repolho roxo                                                |
| Pelargonidina-3-soforosídeo-5-glicosídeo      | Rabanete                                                    |
| Pelargonidina-3-glicosídeo                    | Morango, tamarindo                                          |
| Delphinidina-3,5-diglicosídeo                 | Berinjela, feijão, uva, romã                                |
| Delphinidina-3-cafeoilglicosídeo-5-glicosídeo | Berinjela                                                   |
| Petunidina-3-glicosídeo                       | Uva, vinho, feijão, mirtilo, laranja                        |

Fonte: Adaptado Malacrida e Motta (2006).

As antocianinas desempenham nas plantas as funções antioxidantes, mecanismos de defesa, proteção a ação da luz, produzem cores intensas que influenciam no mecanismos reprodutores das plantas (LOPES *et al.*, 2007).

Segundo Francis (1989) a estrutura química, o pH, a temperatura, a luz, a presença de oxigênio, a degradação enzimática e as interações entre os componentes dos alimentos são características que influenciam na estabilidade das antocianinas. Para Markakis (1982) o pH além de influenciar na estabilidade, afeta na cor das antocianinas, que são mais estáveis em soluções ácidas do que em soluções neutras ou alcalinas.

O que torna as antocianinas indicadores naturais de pH são suas características de absorver a luz na região visível do espectro, apresentando uma variação de cores, ocorrendo mudança da estrutura e na função de acordo com a variação dos valores de pH do meio (BROUILLARD, 1982).

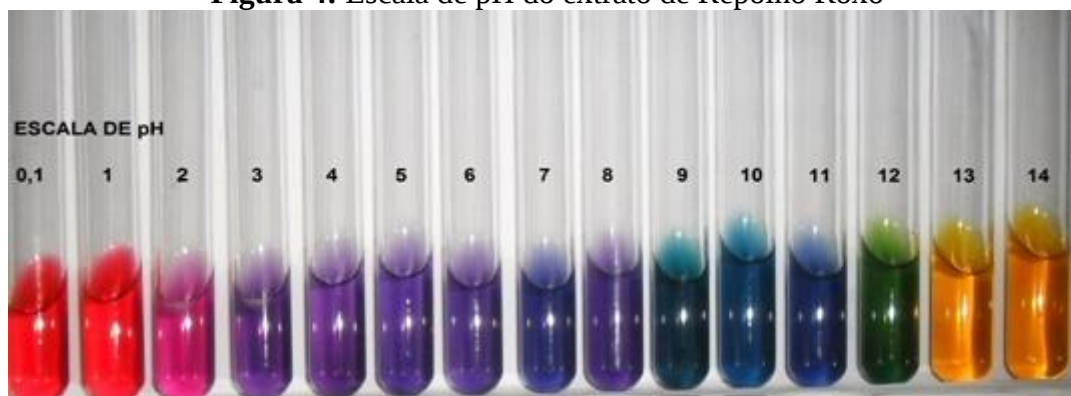
As antocianinas podem ser encontradas em várias flores e frutos, entre todos se destacam os apresentados nos subtópicos a seguir.

#### 3.5.1.1 Repolho Roxo

O repolho (*Brassica oleraceae*) é uma hortaliça de cabeça que é composta por uma sobreposição de folhas espessas, cerosas, conchoidais e imbricadas. Sendo fonte de vitamina C, B1, B2, E e K, mas também fornece sais minerais, cálcio e fósforo (SILVA, 2007 *apud* IZAGUIRRES, 2018). Existem dois tipos de espécies de repolho, o repolho liso (*B. oleracea* L. var. *capitata* L.) e o repolho crespo (*B. oleracea* L var. *sabauda* Martens), e ainda são classificados segundo a forma podendo ser achatada e pontuda, e a cor da cabeça, verde ou branca e roxa (TIVELLI & PURQUERIO, 2005 *apud* SILVA, 2009). Segundo Idaka (1987 *apud* SCHAFRANSKI, 2016) foram encontradas mais de 15 antocianinas no repolho roxo.

O repolho roxo apresenta de acordo com Cardoso *et al.* (2012) uma ampla variação de cor em função do valor de pH, que varia do vermelho, para violeta, azul, verde até o amarelo alaranjado, como mostra a Figura 4.

**Figura 4:** Escala de pH do extrato de Repolho Roxo



Fonte: Cardoso *et al.* (2012).

#### 3.5.1.2 Berinjela

A Berinjela é uma hortaliça anual, cujo nome científico é *Solanum melongena* L., pertence à família *Solanaceae*, e seu centro de origem primário é Índia e o secundário a China,

possui uma grande variedade de formas e cores, mas poucas são cultivadas comercialmente (MOREIRA; TRANI; TIVELLI, 2006).

Segundo Moreira; Trani e Tivelli (2006) a berinjela é uma planta arbustiva de caule semilenhoso e ereto alcançando de 1,0 a 1,8 m de altura com ramificações laterais, possuem frutos com formato que varia de alongado a oblongo, e que apresentam a coloração vinho escuro, rajada ou clara. A Figura 5, mostra uma berinjela.

**Figura 5:** Berinjela



Fonte: Moreira; Trani; Tivelli (2006).

Santos (2017) verificou a berinjela como indicador ácido básico, descobrindo uma coloração roseado em meio ácido, verde-amarelo em meio básico e violeta fraco para uma solução padrão, como mostra a Figura 6. Além disso, testou-se para uma escala de variação de pH 12 a 1 (Figura 7).

**Figura 6:** Teste positivo da berinjela como indicador



Fonte: Santos (2017).

**Figura 7:** Escala de variação de pH 12 a 1 do extrato de Berinjela



Fonte: Santos (2017).

### 3.5.1.3 Feijão

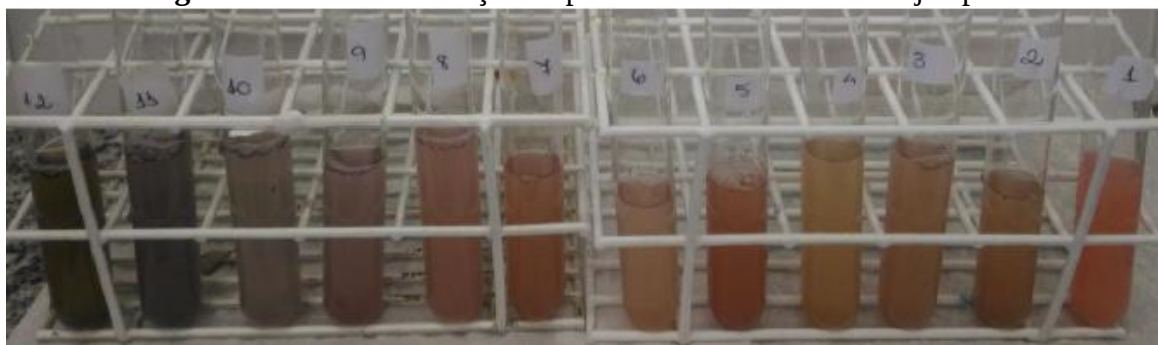
O feijão é produzido em praticamente todo o território nacional, sendo o alimento básico do brasileiro e mesmo com as tecnologias é uma cultura predominante de pequenos agricultores (SILVA, 2005).

No Brasil, são produzidas anualmente mais de 3 milhões de toneladas de feijão e são cultivados os gêneros *Phaseolus*, que são o feijão carioca e preto mais cultivado nas regiões Centro-oeste e Sul, e *Vigna* que são macaçar/caupi nas regiões Norte e Nordeste, em pequenas quantidades, são os feijões vermelho, canário, jalo, rajado e rosinha, que atendem alguns nichos no mercado interno e externo (NETO; ITO, 2006).

Feijões-comuns (*Phaseolus vulgaris*) possuem polifenóis (antocianinas) em diversas quantidades que depende da cor do grão, devido esses polifenóis serem responsáveis pelas cores dos tegumentos de feijão (CHIARADIA, 1997).

O feijão preto foi testado como indicador de pH por Santos (2017) verificando uma cor roseada clara na solução básica, verde na base e roseado mais escuro no ácido e desta forma, este extrato foi testado em uma escala de variação de pH 12 a 1 como apresentado na Figura 8.

**Figura 8:** Escala de variação de pH 12 a 1 do extrato de Feijão preto



Fonte: Santos (2017)

Além do feijão preto Santos (2017) testou o feijão vermelho obtendo na presença de bases uma tonalidade levemente verde, na solução padrão apresentou-se incolor, não havendo quase alteração na presença de ácidos, como pode ser observado na Figura 9.

**Figura 9:** Teste positivo do Feijão vermelho como indicador

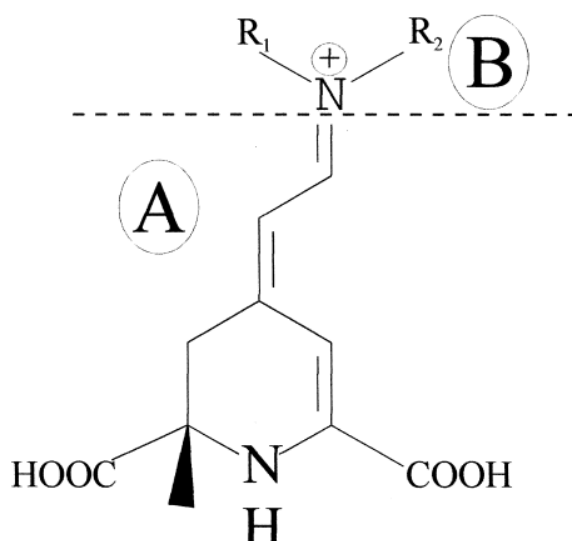


Fonte: Santos (2017)

### 3.6 BETALAÍNAS

Quimicamente, as betalaínas possuem uma estrutura que engloba todos os componentes que apresentam uma fórmula geral, apresentada na Figura 10. Sua estrutura geral contém o ácido betalâmico juntamente de um radical R1 ou R2. Estes radicais representam no geral os possíveis substituintes desse ponto da estrutura, que podem ser de um simples hidrogênio a um complexo substituinte. A variação desses grupos é em função das diferentes fontes de onde podem ser obtidos esses pigmentos e determinam sua tonalidade e estabilidade (VOLP; RENHE; STRINGUETA, 2009).

**Figura 10:** Fórmula Geral das Betalaínas.



Fonte: Delgado-vargas; Jiménez; Paredes-lópez (2000).

Na parte A da Figura 11 é indicada a porção do ácido betalâmico que está presente em todas as moléculas de betalaína, e na parte B, tem-se os radicais R1 e R2 que de acordo com a identidade dos mesmos, a estrutura representará uma betacianina ou uma betaxantina (VOLP; RENHE; STRINGUETA, 2009).

As betalaínas podem ser divididas em dois grupos estruturais: as betacianinas (vermelho ao vermelho violeta) e as betaxantinas (amarelo). As betacianinas podem ser classificadas por sua estrutura química em quatro tipos: betanina, amarantina, gonferina e bougainvilina (CAI; SUN; CORKE, 2005).

Aproximadamente são conhecidas 70 betalaínas, dessas, 50 são pigmentos vermelhos denominadas betacianinas e 20 são pigmentos amarelos, as betaxantinas. Segundo Neto (2009), de 75% a 95% das betacianinas são betanina, que são pigmentos de coloração intensa possuindo

melhor poder tintorial que alguns corantes sintéticos, ainda apresentam pequenas quantidades de isobetaninas e prebetaninas, e dois pigmentos amarelos chamados vulgaxantina I e vulgaxantina II.

As betalaínas tem característica de serem hidrossolúveis, e se apresentarem como sais internos, isto é, como íons com carga positiva e negativa no mesmo grupo de átomos, encontrados nas estruturas celulares dos vegetais (NETO, 2009).

Além disso, as betalaínas acumulam-se nos vacúolos celulares das flores, frutos e folhas das plantas que as sintetizam, assim como as antocininas. Essas espécies foram detectadas apenas em espécies botânicas com coloração vermelho-violeta, laranja e amarelo, das famílias relacionadas da ordem *Caryophyllales* (JACKMAN; SMITH, 1996).

As betalaínas são usadas ainda como corantes de alimento, e as suas propriedades redutoras capturam os radicais livres e previnem a oxidação das moléculas (TIVELLI *et al*, 2011).

Foram identificadas dez famílias produtoras de betalaína: *Aizoaceae*, *Amaranthaceae*, *Basellaceae*, *Cactaceae*, *Chenopodaceae*, *Didiereaceae*, *Holophytaceae*, *Nyctaginaceae*, *Phytolaccaceae* (incluindo *Stegnospermaceae*) e *Portulacaceae* (JACKMAN; SMITH, 1996).

A estabilidade das betalaínas é influenciada por vários fatores, como por exemplo, o pH, temperatura, oxigênio, atividade da água, luz, que limitaram o uso desses pigmentos como corantes alimentares (JACKMAN; SMITH, 1996). São destruídas quando submetidas a altas temperaturas e ficam estáveis na presença de luz e oxigênio (NETTO, 2009). Segundo Damodaran; Parkin e Fennema (2010), no estado puro as propriedades físicas das betalaínas possuem um alto poder de corante absorvendo fortemente a luz e a coloração não se altera no intervalo de pH de 4 a 7.

De acordo com Volp; Renhe e Stringueta (2009), as betalaínas produzem coloração vermelha, amarela, pink e laranja em flores e frutas, sendo que a principal fonte comercial da betalaína (concentrado ou pó) é a beterraba, sendo restrito o uso da betanina como corante natural. No entanto, segundo Gonçalves (2018) além da beterraba podem ser encontradas nos frutos de cactos (como figo de pita), frutos do dragão e acelga.

### 3.6.1 Beterraba

A Beterraba (*Beta vulgaris* L.) faz parte da família *Chenopodiaceae*, é uma hortaliça anual herbácea, originária das regiões de clima temperado da Europa e do Norte da África, sendo cultivada no Brasil nas Regiões Sudeste e Sul. Ela possui uma raiz tuberosa formada por

faixas de tecidos condutores de alimentos estreitas e claras, e faixas de tecidos contendo alimento armazenado que são mais largas e escuras, sendo esta raiz a principal parte comestível, enquanto que é nas folhas que estão a maioria dos nutrientes e vitaminas dessa hortaliça (TIVELLI; TRANI, 2006).

Conforme Tivelli *et al* (2011) a beterraba possui diversos biotipos, que são a beterraba açucareira, forrageira, hortícola, selvagem e a infestante. A cultivada no Brasil é hortícola, também conhecida como beterraba vermelha ou de mesa, que é uma raiz tuberosa de coloração vermelho-arroxeadada devido à presença dos pigmentos hidrossolúveis, ou seja, das betalaínas.

Dessa forma, constatou-se que a beterraba pode ser utilizada como indicador de pH, apresentando uma coloração vinho claro em meio ácido e amarelo no meio básico (DIAS, GUIMARÃES; MERÇON, 2003).

## 4 METODOLOGIA

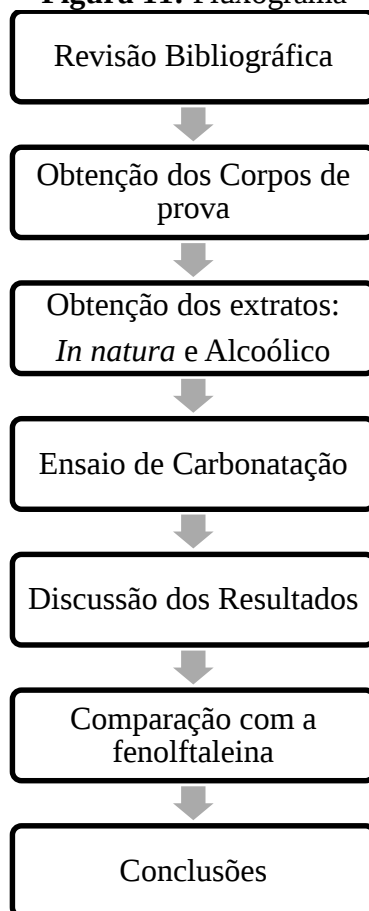
Para a execução do trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica, que é definida como uma pesquisa desenvolvida a partir de um material já elaborado, principalmente livros e artigos científicos, e de técnicas de análises do assunto (Gil, 2008). A mesma foi feita visando uma melhor compreensão sobre o tema abordado, a fim de reunir e organizar informações a respeito da carbonatação, do ensaio para determinar a sua profundidade no concreto e sobre os indicadores naturais. Foram tomadas como base várias fontes de pesquisas, como artigos técnicos e científicos, livros, teses, dissertações e normas.

Esse trabalho também foi desenvolvido baseado na pesquisa experimental, definida da seguinte forma por Gil (2008, p. 16): “Consiste essencialmente em submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objeto”.

Com o intuito de obter os resultados foi feita a extração do indicador natural de pH a base de beterraba, que é uma espécie vegetal com a presença de betalaínas, no laboratório de Química Aplicada da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Multidisciplinar de Pau dos Ferros-RN (CMPF). A extração foi feita de forma *in natura* e alcóolica.

A partir disso, em um segundo momento foi realizado o ensaio de carbonatação em corpos de prova de concreto produzidos há um ano e cedidos para o estudo por uma obra da região. O ensaio de carbonatação foi realizado nas dependências do laboratório do curso de Engenharia Civil da UFERSA, CMPF. Ambos os procedimentos aconteceram no mês de janeiro de 2020.

A metodologia do trabalho é expressa no fluxograma da Figura 11:

**Figura 11:** Fluxograma

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

## 4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1.1 Obtenção dos Corpos de prova

Os corpos de prova utilizados para realização da parte experimental desse trabalho foram obtidos da obra do Residencial Fontes Rêgo, que ainda está em construção. A referida obra fica localizado no município de Pau dos Ferros – RN.

Foram cedidos pela obra 6 corpos de prova, utilizando 3 desses de referência para cada extrato testado (Figura 12). Os corpos de prova são cilíndricos de dimensões 10 x 20 cm, passaram por uma cura ao ar por um período de 24 horas, seguida da desmoldagem e posterior cura úmida de 28 dias. Essas peças foram expostas ao ambiente por um ano, sofrendo o processo de carbonatação natural nesse período.

**Figura 12:** Corpos de prova utilizados



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

#### 4.1.2 Obtenção dos Extratos

As beterrabas utilizadas foram obtidas na feira do município de Itaú-RN. Para obter o primeiro extrato de beterraba, foi realizada uma extração *in natura*, baseada em Dias, Guimarães e Merçon (2003).

Dessa forma a beterraba foi lavada com água destilada, cortada e foram pesados 50g (Figura 13 e 14). Posteriormente, esses 50g foram triturados no liquidificador com a adição de 50 ml de água destilada, e passaram por filtração em seguida, obtendo-se o extrato.

Para o segundo extrato foi realizada a extração alcoólica, para a qual foram cortados e pesados 50g de beterraba, que em seguida foram lavados com água destilada, triturados com 50 ml de álcool e, por fim, coados, obtendo-se o extrato alcoólico.

**Figura 13:** Beterraba Cortada



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

**Figura 14:** Pesagem da amostra de beterraba



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Após a obtenção dos extratos, foi testado a alteração da coloração desses em diferentes pHs em comparação com a fenolftaleína. Para isso, foram separados cinco tubos de ensaios contendo 5 soluções com pH 1,03; 4,01; 6,93; 9,16 e 12,5. Para a determinação do pH das soluções, foi utilizado um pHmetro manual.

#### **4.1.3 Ensaio de Carbonatação**

Para o ensaio de carbonatação foi usado 1% fenolftaleína, 70% de álcool etílico e 29% de água destilada, seguindo o recomendado por RILEM DOCEN 011 (1993) *apud* Silva (2007).

Para verificar a profundidade de carbonatação, os corpos de prova de concreto foram cortados no plano transversal com uma serra mármore. Em seguida receberam aspersão de fenolftaleína em metade do corpo de prova e na outra metade o indicador natural de beterraba, conforme orientado por Chinchón-Payá, Andrade e Chinchón (2016).

A análise visual da coloração em relação à parte da estrutura carbonatada e não carbonatada foi feita após 10 minutos, continuando por um tempo a observação do comportamento do indicador de beterraba.

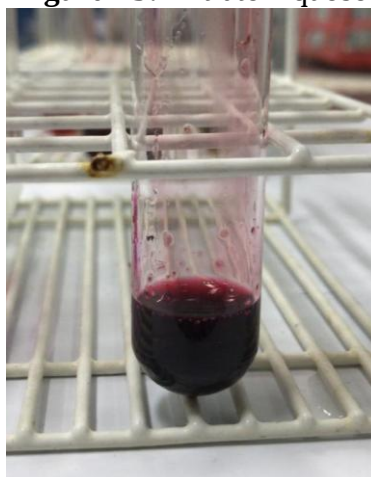
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção mostra-se a discussão e análise dos dados obtidos por meio da pesquisa experimental efetuada nos laboratório de Química Aplicada e de Engenharia Civil da UFERSA, CMPF. Desta maneira, os resultados obtidos permitiram o alcance dos objetivos da pesquisa.

### 5.1 COMPARAÇÃO DA VARIAÇÃO DE COLORAÇÃO DO INDICADOR NATURAL COM A FENOLFTALEÍNA

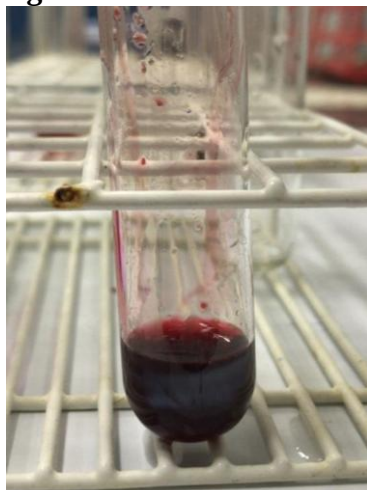
A coloração dos extratos aquoso e alcoólico obtidos foi um vermelho escuro e são apresentados na Figura 15 e 16, respectivamente.

**Figura 15:** Extrato Aquoso



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

**Figura 16:** Extrato Alcoólico



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

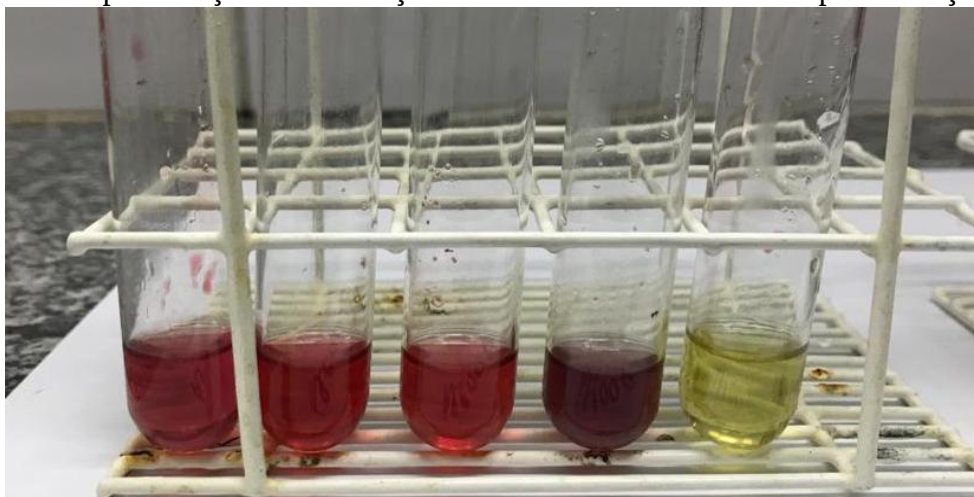
Observou-se as mudanças de coloração dos extratos em comparação com a da fenolftaleína nas mesmas soluções. O extrato aquoso, apresentou no pH ácido 1,03; 4,01 e 6,93 a cor vermelha no pH básico 9,16 e 12,5, coloração vinho e verde amarelado, respectivamente (Figura 17). O extrato alcoólico obteve as mesmas colorações, com exceção dos três primeiros pHs que mostraram um rosa mais claro do que o extrato aquoso (Figura 18). Os resultados corroboram com Dias, Guimarães e Merçon (2003) que verificaram uma coloração vinho claro em meio ácido e amarelo no meio básico no indicador de beterraba.

**Figura 17:** Representação das colorações do extrato aquoso obtidas pela variação do pH



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

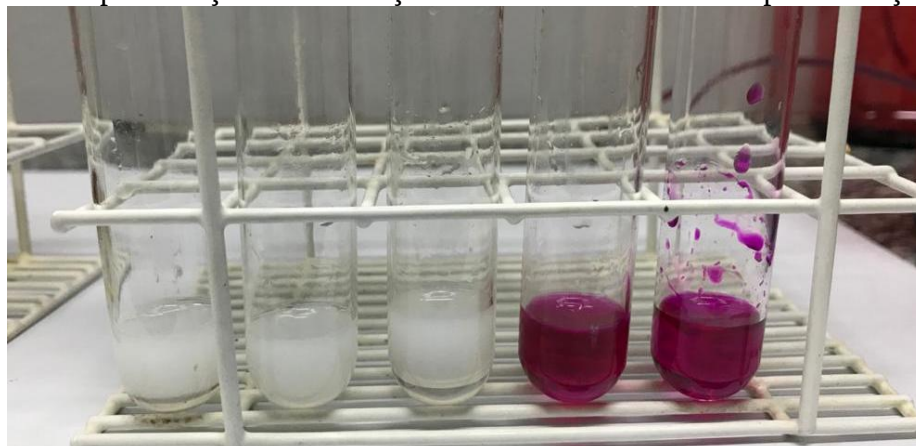
**Figura 18:** Representação das colorações do extrato alcoólica obtidas pela variação do pH



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Já a fenolftaleína, como visto na literatura, apresentou coloração rosa em soluções básicas e incolor em soluções ácidas (Figura 19).

**Figura 19:** Representação das colorações da fenolftaleína obtidas pela variação do pH



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

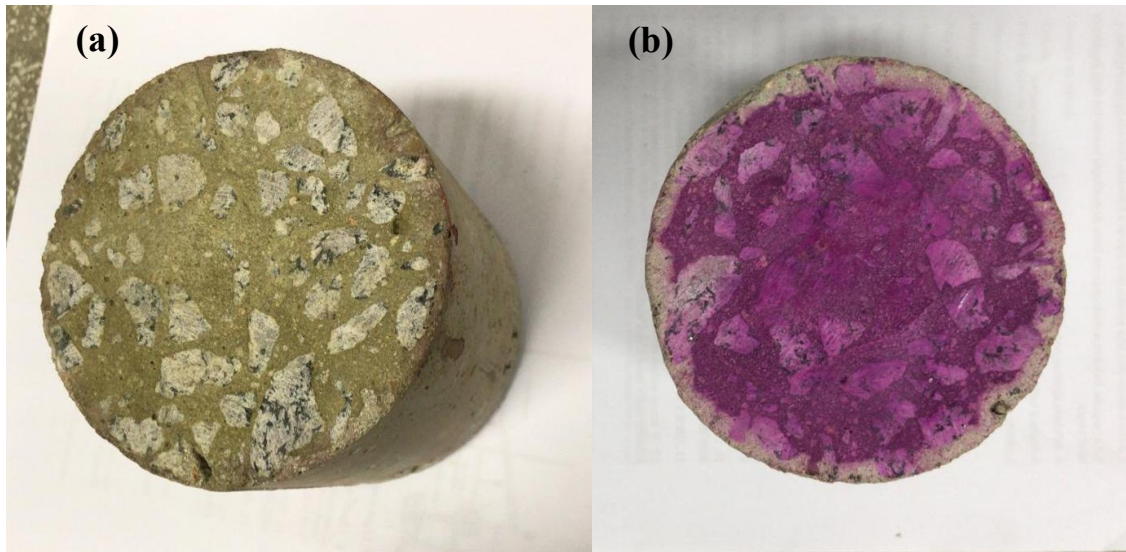
Desta forma, observou-se que o indicador de beterraba por extração *in natura* e alcoólica pode ser um possível substituto para a fenolftaleína, em relação à mudança de coloração nas mesmas faixa de pH, conforme afirmado por Helene (1993) que destacou que os indicadores com mudança de pH entre 8 e 11 podem ser empregados com sucesso no ensaio de carbonatação.

## 5.2 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE CARBONATAÇÃO DO CONCRETO PELO INDICADOR NATURAL DE PH COM OS OBTIDOS COM A FENOLFTALEÍNA

Como visto, Lapa (2008) afirma que na área carbonatada o concreto possui um pH por volta de 9,4 e na não carbonatada um pH da ordem de 12,5. Desta forma, com a verificação da coloração verifica-se que quando aspergido, as duas soluções de indicadores de beterraba na área carbonatada do concreto deverá apresentar uma cor vermelha e na não carbonatada verde amarelado.

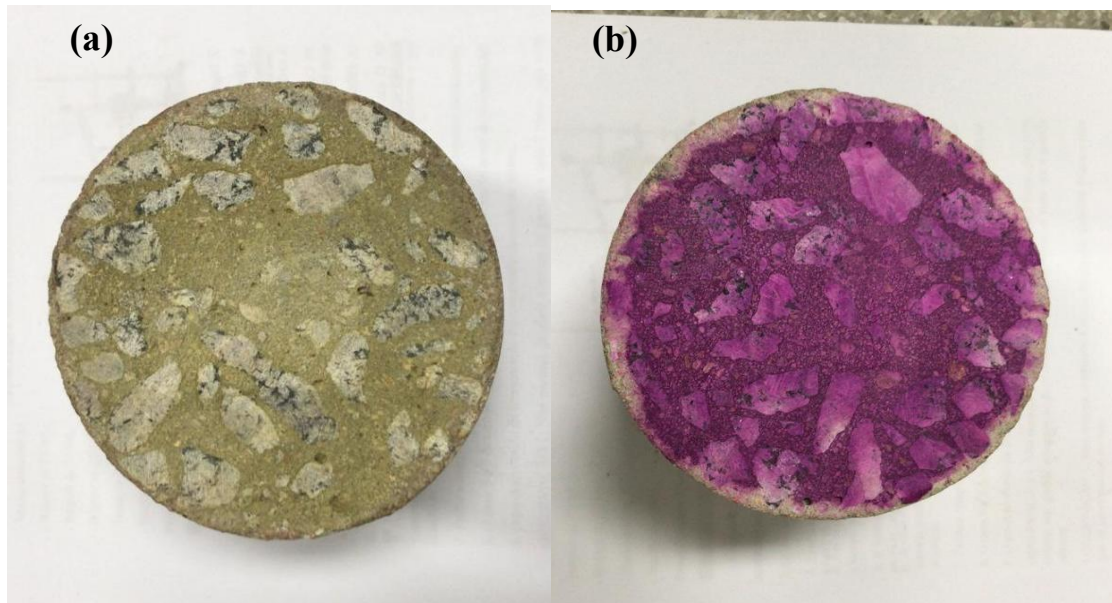
Então, no ensaio de carbonatação após 10 minutos da aspersão verificou-se nos três corpos de prova utilizados de referência, que foi aspergido o indicador de beterraba obtido por extração *in natura*, foi possível perceber uma coloração esverdeada na área não carbonatada como esperado, porém na área carbonatada o avermelhado é praticamente imperceptível, percebendo-se somente uma tonalidade mais escura nas bordas do corpo-de-prova. Enquanto, a fenolftaleína mostrou de forma evidente a frente de carbonatação no concreto (Figura 20, 21 e 22).

**Figura 20:** Núcleos de concreto 1 (a) com solução aquosa de beterraba e (b) com solução de fenolftaleína.



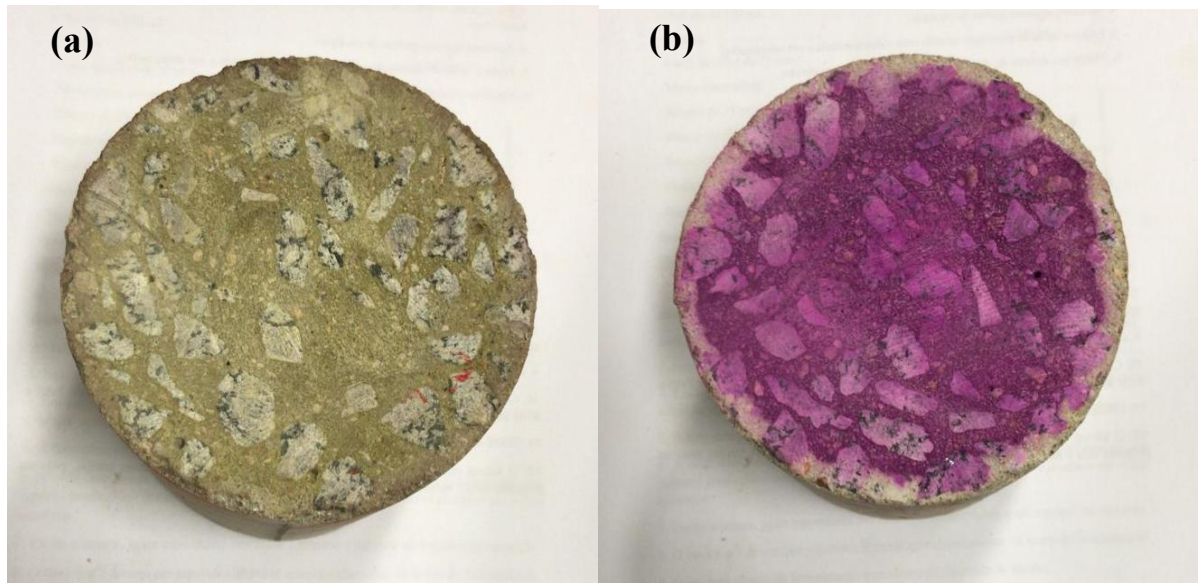
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

**Figura 21:** Núcleos de concreto 2 (a) com solução aquosa de beterraba e (b) com solução de fenolftaleína.



Elaborado pela autora (2020).

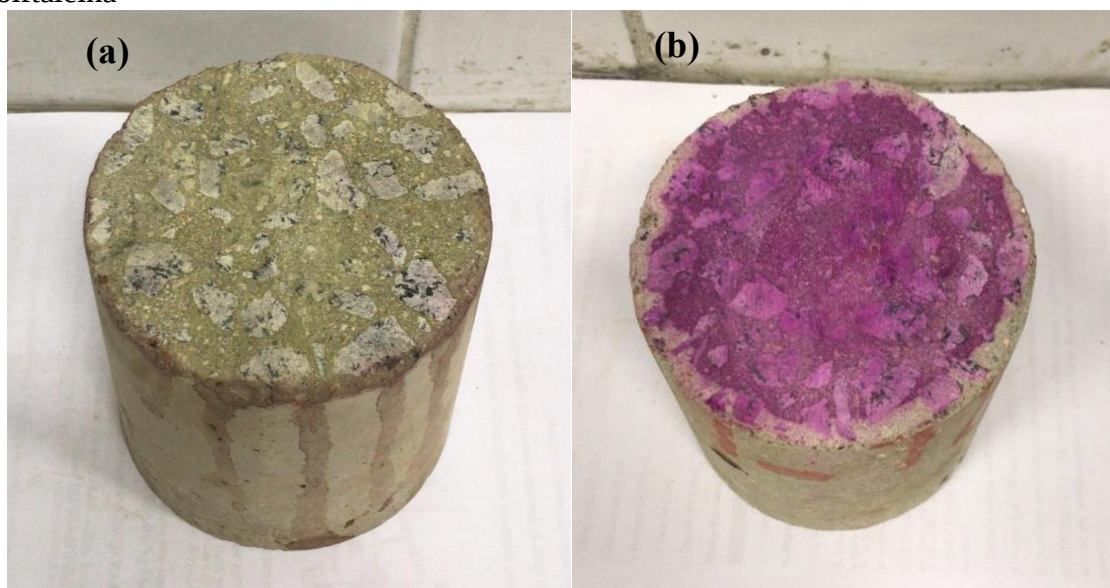
**Figura 22:** Núcleos de concreto 3 (a) com solução aquosa de beterraba e (b) com solução de fenolftaleína



Elaborado pela autora (2020).

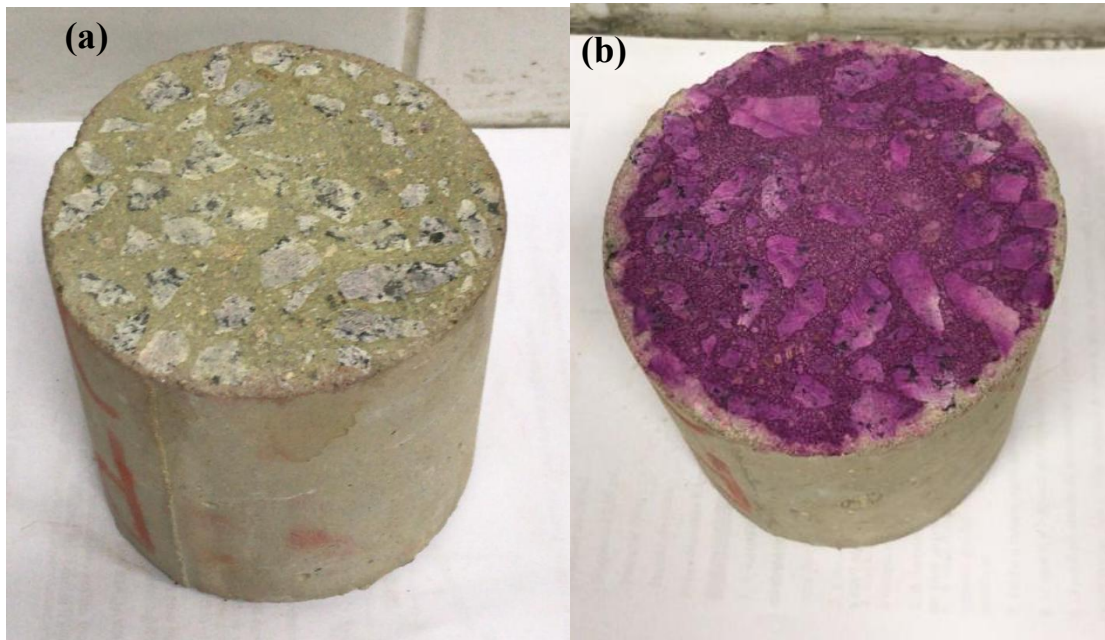
Quando foi utilizado na aspersão do indicador por extração alcoólica, identificou-se também uma tonalidade esverdeada na parte não carbonatada e vermelho claro na carbonatada, que ficou mais evidente do que quando comparado ao extrato aquoso, como mostrado nas Figuras 23, 24 e 25. No entanto, mesmo que o extrato alcóolico da beterraba seja mais evidente do que o extrato aquoso, a fenolftaleína ainda permitiu uma visualização mais nítida da profundidade da carbonatação.

**Figura 23:** Núcleos de concreto 1 (a) com solução alcoólica de beterraba e (b) com solução de fenolftaleína



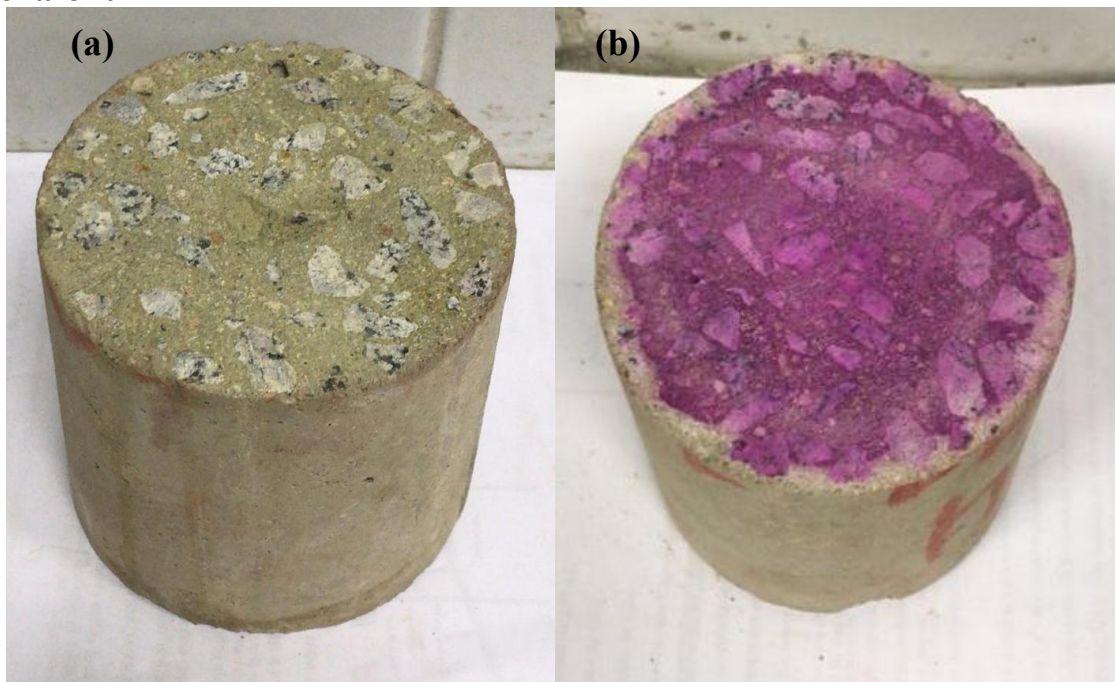
Elaborado pela autora (2020).

**Figura 24:** Núcleos de concreto 2 (a) com solução alcoólica de beterraba e (b) com solução de fenolftaleína



Elaborado pela autora (2020).

**Figura 25:** Núcleos de concreto 3 (a) com solução alcoólica de beterraba e (b) com solução de fenolftaleína



Elaborado pela autora (2020).

Além disso, foi verificado também que com o passar do tempo os extratos foram sendo absorvidos pelo corpo de prova, e consequentemente a coloração foi ficando mais clara. Esse processo ocorreu de forma mais rápido no extrato alcoólico do que no aquoso, visto que o álcool evapora mais rápido que a água.

## 6 CONCLUSÃO

Diante do questionamento levantado por esse trabalho, e a partir da aplicação da metodologia adotada foi possível realizar uma pesquisa experimental a fim de testar um indicador natural de pH como substituto da fenolftaleína, visto os perigos que essa substância pode representar. Dessa forma, com base nos dados obtidos e estudos realizados no referencial teórico do trabalho, conseguiu-se elementos suficientes para a determinação das conclusões apresentadas nesse tópico.

A partir dos resultados, verificou-se que os dois extratos do indicador de beterraba apresentaram uma boa variação de pH, possuindo colorações distintas em soluções ácidas e básicas, de forma que torna-se possível identificar adequadamente as variações de pH por meio dessas soluções. Vale destacar que a solução alcoólica apresentou uma coloração vermelha ligeiramente mais clara.

No entanto, quando essas soluções foram aplicadas no ensaio de carbonatação não foi possível distinguir com clareza as áreas carbonatadas das não carbonatadas, apesar de apresentarem uma boa coloração na área não carbonatada, principalmente no extrato alcoólico. Ou seja, a profundidade de carbonatação não foi identificada de forma clara como quando comparada com a fenolftaleína.

Desse modo, conclui-se que o indicador de pH à base de beterraba não pode ser usado com a mesma confiabilidade que a fenolftaleína na medição da profundidade de carbonatação do concreto.

O presente trabalho evidenciou alguns aspectos que merecem estudos mais profundos, em relação à forma de extração e tipo do indicador. Portanto, sugerem-se para futuros trabalhos os seguintes tópicos:

- Testar outras formas de extração e diferentes concentrações de betalaína do mesmo indicador de beterraba;
- Verificar a viabilidade de outros tipos de indicadores naturais de pH como substitutos da fenolftaleína no ensaio de carbonatação;
- Analisar os indicadores para um concreto com um período de exposição superior ao testado nessa pesquisa, ou fazer uso de uma câmara de carbonatação para exposição dos corpos de prova ao CO<sub>2</sub>.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, A. A. de. **Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes**. 2010. 74 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal De Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9A4GDM/1/durabilidade\\_das\\_estruturas\\_de\\_concreto\\_armado\\_aparentes.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9A4GDM/1/durabilidade_das_estruturas_de_concreto_armado_aparentes.pdf)>. Acesso em: 08 jan. 2019.

ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. Tradução e adaptação: Antônio Carmona e Paulo Helene. São Paulo: Pini, 1992, 104p. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/manual-para-diagnostico-de-obras-deterioradas-por-corrosao-de-armaduras/4895902/>>. Acesso em: 10 out. 2019.

ANIDROL PRODUTOS PARA LABORATÓRIOS. **Ficha de informação de Segurança de produto químico: Solução de Timolftaleína**. 2015. Disponível em: <[http://www.anidrol.com.br/fispq/TIMOLFTALEINA-PA\(INDICADOR%20EM%20PO\)A-2390.pdf](http://www.anidrol.com.br/fispq/TIMOLFTALEINA-PA(INDICADOR%20EM%20PO)A-2390.pdf)>. Acesso em: 30 nov. 2019.

ANTUNES, S. A. **Volumetria Ácido Base**. Relatório de Estágio (Mestre em Ensino de Física e Química no 3º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário – UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR). Covilhã, 2013. Disponível em: <<https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/3682/1/Relat%C3%B3rio%20de%20Est%C3%A1gio%20-%20Anabela%20Antunes.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2019.

ATIS, C.D. (2004). Carbonation-Porosity-Strength Model for fly ash concrete. **Journal of Materials in Civil Engineering**, p. 91-94. Disponível em :<<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290899-1561%282004%2916%3A1%2891%29>>. Acesso em: 10 out. 2019.

ATKINS, Peter; JONES, Loretta. **Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. 5ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BÁNYAI, E. **Em Indicators**; Bishop, E., ed.; Pergamon Press: Oxford, 1972, p. 1.

BERTOS, M.F et al. A review of accelerated carbonation technology in the treatment of cement-based materials and sequestration of CO<sub>2</sub>. **Journal of Hazardous Materials**, 2004, p. 193-205. Disponível em: <[https://webpages.ciencias.ulisboa.pt/~fbarriga/ZeroEm/Bibliografia\\_files/Bertos+al\\_2004\\_JHazardMaterials.pdf](https://webpages.ciencias.ulisboa.pt/~fbarriga/ZeroEm/Bibliografia_files/Bertos+al_2004_JHazardMaterials.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2019.

BOLIVAR, Gabriel. **Fenolftaleína (C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>): Estrutura Química, Propriedades.** Lifeder, [2018?]. Disponível em: <<https://www.lifeder.com/fenolftaleina/>>. Acesso em: 08 jan. 2019.

BOURGUIGNON, Kátia Maria Brunoro Grilo. **Influência da resistência à compressão na carbonatação de concretos com diferentes teores de escória de alto-forno.** 2004, 153 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, 2004. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp128571.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2019.

BROUILLARD, R. **Chemical structure of anthocyanins.** In: MARKAKIS, P. (Ed.). Anthocyanins as food colors. New York: Academic Press, 1982.

CAI, Y.Z.; SUN, M.; CORKE, H. Characterization and application of betalain pigments from plants of the Amaranthaceae. **Trends Food Science & Technology.**, n.16, p.370-376, 2005. Disponível em: <[https://www.academia.edu/26172884/Characterization\\_and\\_application\\_of\\_betalain\\_pigments\\_from\\_plants\\_of\\_the\\_Amaranthaceae](https://www.academia.edu/26172884/Characterization_and_application_of_betalain_pigments_from_plants_of_the_Amaranthaceae)>. Acesso em: 29 jan. 2020.

CARDOSO, P.H.F. *et al.* **O extrato de brassica oleracea var. capitata (repolho roxo) para substituição dos indicadores convencionais de pH.** In: 52º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, Recife, 2012. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2012/trabalhos/7/1276-14534.html>>. Acesso em: 10 out. 2019.

CHANG, Raymond. **Química Geral: conceitos essenciais.** 4ª ed. AMGH Editora Ltda. São Paulo. 2010. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=1wlkVR-WPzAC&pg=PA566&lpg=PA566&dq=fenolftale%C3%ADna+cores&source=bl&ots=2g1seD5zru&sig=Y3bdYAaLZE-NHRS1Fz1yIAuxzBE&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwibsfjC9JvbAhWCHJAKHeacDsQQ6AEIeTAN#v=onepage&q=fenolftale%C3%ADna&f=false>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

CHIARADIA, Ana Cristina Nascimento. **Determinação da estrutura de pigmentos de feijão e estudo da sua ação na qualidade protéica.** 1997, 119f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7725/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 out. 2019.

CHINCHÓN-PAYÁ, S., ANDRADE, C., & CHINCHÓN, S. **Indicator of carbonation front in concrete as substitute to phenolphthalein.** Cement and Concrete Research. 2016, 82, p. 87–91. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000888461500304X>>. Acesso em: 08 jan. 2019.

CURTRIGHT, R., RYNEARSON, J.A., MARKWELL, J. **Anthocyanins Model compounds for learning about more than pH**. J. Chem. Educ., v.73, n. 4, p.306- 309,1996.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. Corantes. In: SCHWARTZ, S. J.; ELBE, J. H.; GIUSTI, M. M. **Química de Alimentos de Fennema**. Rio Grande do Sul: Artmed, 2010, p. 445-498. Disponível em:<<https://pt.scribd.com/document/444053122/Quimica-de-Alimentos-de-Fennema-4%C2%AA-Ed-2010-1-pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2020.

DELGADO-VARGAS, F., JIMÉNEZ, A. R., & PAREDES-LÓPEZ, O. Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains — Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 40(3), p. 173–289, 2000. Disponível em:<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10850526>>. Acesso em: 29 jan. 2020.

DIAS, M. V., GUIMARÃES, P. I. C., MERÇON, F. **Corantes naturais: Extração e emprego como indicadores de pH**. Química Nova na Escola, n. 17, 2003, p. 27-31. Disponível em:<<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc17/a07.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2020.

FARIAS, Amaro. **Indicadores**. Química Analítica Quantitativa, Curso Técnico em Química, Guaíba, 2012. Disponível em:<<https://www.docsity.com/pt/indicadores-140/4838455/>>. Acesso em: 03 jan. 2020.

FORRESTER, J. A. **Measurement of Carbonation**. In: RILEM COLLOQUIUM ON CARBONATION OF CONCRETE Proceedings...[s.l., s.ed], 1976. Paper 2.1, 5p.

FRANCIS, F. J. Food colorants: anthocyanins. **Critical Review of Food Science and Nutrition**, v. 28, p. 273-314, 1989. Disponível em:<<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408398909527503>>. Acesso em: 10 out. 2019.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. Disponível em:<<https://ayanrafael.files.wordpress.com/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2019.

GIL, Marielsa. **Timolftalein: características, preparação e aplicações**. Lifeder, [2019?]. Disponível em:<<https://www.lifeder.com/timolftaleina/>>. Acesso em: 08 jan. 2019.

GONÇALVES, Bárbara Sofia G. **Pigmentos Naturais de Origem Vegetal: Betalainas**. 2018, 54f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Faro, 2018. Disponível

em:<<https://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/12370/1/Tese%20de%20MICF%2025.09.2018.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2019.

GRANATO, J. E. **Patologia das Construções**. 2002. Disponível em:<<http://irapuama.dominiotemporario.com/doc/Patologiadasconstrucoes2002.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2019.

HARBORNE, J.B.; GRAYER, R.J., **The anthocyanins**. In: The flavonoids: advances in research since 1980. Chapman & Hall, London, 1988, p. 1-20. Disponível em:<<https://libgen.is/book/index.php?md5=A7E77B10D9640DE68D1844965EB4C9B4>>. Acesso em: 10 out. 2019.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. 231f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993. Disponível em:<<https://pt.scribd.com/document/317442153/Contribuicao-ao-estudo-da-corrosao-em-armaduras-de-concreto-armado>>. Acesso em: 10 out. 2019.

HENRY, B.S. Natural food colours. In: HENDRY, G. A. F.; HOUGHTON, J. D. (Eds.) **Natural Food Colorants**. 2nd ed. Londres: Chapman & Hall, 1996. p. 40-79. Disponível em:<<https://www.springer.com/gp/book/9780751402315>>. Acesso em: 10 out. 2019.

IBRACON – INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO. **Revista Concreto e Construções**. Ano XXXVII, n 53, 2009. Disponível em:<[http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/Revista\\_Concreto\\_53.pdf](http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf)>. Acesso em: 08 out. 2019.

IZAGUIRRES, Gabrielle Guimarães. **PURIFICAÇÃO PARCIAL DE ANTOCIANINAS A PARTIR DO JAMBOLÃO (*Eugenia jambolana*) E DE REPOLHO ROXO (*Brassica oleracea*) ATRAVÉS DE SISTEMA AQUOSO BIFÁSICO (SAB) NÃO CONVENCIONAL**. 75f, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Engenharia Agroindustrial Agroquímica) –Universidade Federal do Rio Grande, Santo Antônio da Patrulha, 2018. Disponível em:<[https://sistemas.furg.br/sistemas/sab/arquivos/conteudo\\_digital/8a8212405245f7dbfdaba7fc3bf6e3de.pdf](https://sistemas.furg.br/sistemas/sab/arquivos/conteudo_digital/8a8212405245f7dbfdaba7fc3bf6e3de.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2019.

JACKMAN R. L. E SMITH D. L. “Anthocyanins and betalains”. In: HENDRY, G. A. F.; HOUGHTON, J. D. (Eds.) **Natural Food Colorants**. 2nd ed. Londres: Chapman & Hall, 1996. p. 244-296. Disponível em:<<https://www.springer.com/gp/book/9780751402315>>. Acesso em: 10 out. 2019.

JOHANSSON, A. **The development of the titration methods: Some historical annotations.** *Analytica Chimica Acta*. 1988, v. 206, p. 97-109. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000326700080834X?via%3Dihub>>. Acesso em: 16 dez. 2019.

KULAKOWSKI, Marlova Piva. **Contribuição ao Estudo da Carbonatação em Concretos e Argamassas Compostos com a Adição de Sílica Ativa.** Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2002. 199 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3594>>. Acesso em: 09 out. 2019.

LAPA, José Silva. **Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto.** 2008. TCC – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte-MG, 2008. Disponível em: <[https://www.academia.edu/28706118/PATOLOGIA\\_RECUPERA%C3%87%C3%83O\\_E\\_REPARO\\_DAS ESTRUTURAS\\_DE\\_CONCRETO](https://www.academia.edu/28706118/PATOLOGIA_RECUPERA%C3%87%C3%83O_E_REPARO_DAS ESTRUTURAS_DE_CONCRETO)>. Acesso em: 08 jan. 2019.

LOPES *et al.* **Antocianinas: uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade.** R. Bras. Agrociência, Pelotas, v.13, n.3, p. 291-297, jul-set, 2007. Disponível em: <<http://www2.ufpel.edu.br/faem/agrociencia/v13n3/artigo02.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

MAAR, J. H. **Pequena História da Química**, parte I, Ed. Papa-Livro: Florianópolis, 1999.

MALACRIDA, C. R.; MOTTA, S. Antocianinas em suco de uva: composição e estabilidade. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 59-82, 2006. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/228338627\\_Antocianinas\\_em\\_suco\\_de\\_uva\\_composicao\\_e\\_estabilidade](https://www.researchgate.net/publication/228338627_Antocianinas_em_suco_de_uva_composicao_e_estabilidade)>. Acesso em: 10 out. 2019.

MARKAKIS, P. Stability of anthocyanins in foods. In: MARKAKIS, P. (Ed.) **Anthocyanins as food colors.** New York: Academic Press, 1982. p. 163-180. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/books/anthocyanins-as-food-colors/markakis/978-0-12-472550-8>>. Acesso em: 10 out. 2019.

MARTINELLI JÚNIOR, L. A. **Carbonatação natural de protótipos de concreto com cinza de casca de arroz.** 2010. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7749/MARTINELLI%20JUNIOR%2C%20LUIZ%20ADELAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 08 jan. 2019.

MOREIRA, Silvia R.; TRANI, Paulo E.; TIVELLI, Sebastião W. **Beringela.** Campinas: Instituto Agrônomo - Centro de Horticultura, 2006. Disponível

em:<[http://www.iac.sp.gov.br/imagem\\_informacoestecnologicas/45.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/45.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2019.

NETO, D. Dourado; ITO, M. A. Panorama atual da cultura de feijão. In: CASTRO, Jairo Lopes de; ITO, Margarida Fumiko (Coord.). **Anais 21º Dia de Campo de Feijão**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2006, p. 05-12, (Documentos IAC; n. 76). Disponível em:<[http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes\\_online/pdf/doc76.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes_online/pdf/doc76.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2019.

NETTO, R. C. M. Dossiê Corantes. **FOOD INGREDIENTS BRASIL**, n. 9, 2009, p. 40-59. Disponível em:<[https://revista-fi.com.br/upload\\_arquivos/201606/2016060213572001465326315.pdf](https://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201606/2016060213572001465326315.pdf)>. Acesso em: 29 jan. 2020.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Tradução: Ruy Alberto Cremonini. 5 ed. Porto Alegre: Brookman, 2016. 888 páginas.

OLIVEIRA, J. A. *et al.* **ANÁLISE EXPERIMENTAL DOS EFEITOS DA CARBONATAÇÃO EM CONCRETOS PÓS INCÊNDIO**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia de Materiais, 2018, Foz do Iguaçu. **ANÁLISE EXPERIMENTAL DOS EFEITOS DA CARBONATAÇÃO EM CONCRETOS PÓS INCÊNDIO**, 2018. Disponível em:<<http://cbecimat.com.br/anais/PDF/IIn21-003.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2019.

PARLAMENTO EUROPEU. EEE. **REGULAMENTO (CE) N.º 1272/2008** do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2008: relativo à classificação, rotulagem e embalagem de substâncias e misturas, que altera e revoga as Directivas 67/548/CEE e 1999/45/CE, e altera o Regulamento (CE) n.º 1907/2006. Jornal Oficial, nº L353, 2008, p. 1-1355. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:pt:PDF>>. Acesso em: 08 out. 2019.

PAULETTI, Cristiane. **Análise Comparativa de Procedimentos para ensaios Acelerados de Carbonatação**. Porto Alegre: PPGE/UFRGS, 2004. 176 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2004. Disponível em:<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5157/000466019.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 09 out. 2019.

POSSAN, Edna. **Modelagem da Carbonatação e Previsão de Vida Útil de Estruturas de Concreto em Ambiente Urbano**. Porto Alegre: PPGE/UFRGS, 2010. 265 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2010. Disponível em:<<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/28923>>. Acesso em: 09 out. 2019.

SANTOS, Geovana Santos. **Antocianinas como Indicador Ácido-Base com Potencial Aplicação no Espaço Escolar**. 2017, 95 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pampa, Química, 2017. Disponível em: <<http://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/3065/1/TCC%20Geovana%20Santos%202017.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2019.

SCHAFRANSKI, Kathlyn. **EXTRAÇÃO E ESTABILIDADE DE ANTOCIANINAS DO REPOLHO ROXO (Brassica oleracea)**. 2016, 29f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Tecnologia em Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Tecnologia em Alimentos, Ponta Grossa, 2016. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8077/1/PG\\_COALM\\_2016\\_1\\_37.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8077/1/PG_COALM_2016_1_37.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2019.

SILVA, Valdirene Maria. **Ação da Carbonatação em Vigas de Concreto Armado em Serviço, construídas em Escala Natural e Reduzida**. São Carlos, 2007. Tese (Doutorado) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007. Disponível em: <[http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2007DO\\_ValdireneMariaSilva.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2007DO_ValdireneMariaSilva.pdf)>. Acesso em: 08 out. 2019.

SILVA, Gilson Silverio da. **Crescimento e produtividade de repolho roxo em função de espaçamentos entre linhas e entre plantas**. vi, 46 f.; 28 cm, 2009. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/96876/silva\\_gs\\_me\\_jabo.pdf?sequence=1](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/96876/silva_gs_me_jabo.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 10 out. 2019.

SILVA, Lelisangela Carvalho da. **Recomendação de Cultivares de Feijão-vermelho para o Estado de Minas Gerais**. 77f, 2005. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: UFV, 2005. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/10711/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 out. 2019.

SOARES, J. F. da Silva. **Ácidos e Bases: Uma Abordagem Cotidiana**. Belo Horizonte, 2010. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química, 2010. Disponível em: <[https://www.qui.ufmg.br/collegiado\\_grad\\_tcc/tcc\\_grad/LQ-Jos%C3%A9f%C3%A9lixdaSilva\\_%C3%81cidoseBases.pdf](https://www.qui.ufmg.br/collegiado_grad_tcc/tcc_grad/LQ-Jos%C3%A9f%C3%A9lixdaSilva_%C3%81cidoseBases.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2019.

SOUZA, Lília Alves de. **"Indicadores de pH"**; *Brasil Escola*. S.d. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/indicadores-ph.htm>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998. Disponível em: <

<https://lucasmonteiro.site.files.wordpress.com/2017/08/vicente-custc3b3dio-e-thomaz-ripper-patologia-recuperacao-e-reforco-de-estruturas-de-concreto.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2019.

TAYLOR, H.F.W. **Cement Chemistry**. ed 2. London. Thomas Telford, 1997. Disponível em:< [https://www.academia.edu/36559019/Cement\\_chemistry\\_2nd\\_edition](https://www.academia.edu/36559019/Cement_chemistry_2nd_edition)>. Acesso em: 10 out. 2019.

TERCI, D. B. L.; ROSSI, A. V. **Indicador natural de pH: usando papel ou solução?** Quím. Nova, v. 25, n. 4, 2002. Disponível em:< [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422002000400026](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422002000400026)>. Acesso em: 10 out. 2019.

TIVELLI, Sebastião W. *et al.* **Beterraba: do plantio à comercialização**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2011. 45p. (Série Tecnologia APTA. Boletim Técnico IAC, 210). Disponível em:<[http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/porassunto/pdf/bt\\_210.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/porassunto/pdf/bt_210.pdf)>. Acesso em: 21 nov. 2019.

TIVELLI, Sebastião W.; TRANI, Paulo E. **Hortaliças Beterraba (*Beta vulgaris* L.)**. Campinas: Instituto Agrônomo - Centro de Horticultura, 2006. Disponível em:<[http://www.iac.sp.gov.br/imagem\\_informacoestecnologicas/44.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/44.pdf)>. Acesso em: 21 nov. 2019.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete**. 1982, 469 f. Tese (Doutorado). Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm. Disponível em:< <https://lucris.lub.lu.se/ws/files/4709458/3173290.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2019.

UCHÔA, V. T.; CARVALHO FILHO, R. S. M.; LIMA, A. M. M.; ASSIS, J. B. Utilização de plantas ornamentais como novos indicadores naturais ácido-base no ensino de química. **Holos**, Natal, RN, Ano 32, v. 2, p. 152-165, 2016. Disponível em:< <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/3869>>. Acesso em: 08 jan. 2019.

VOLP, A. C. P.; RENHE, I. R. T.; STRINGUETA, P. C. Pigmentos Naturais Bioativos. **Alim. Nutr.**, v. 20, n. 1, p. 157-166, 2009. Disponível em:<<http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/viewFile/959/786>&gt;. Acesso em: 29 jan. 2020.