



Ministério da Educação
Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto de Tecnologia, Infraestrutura e Território
Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura

**DESENVOLVIMENTO DE UM MICROCONCRETO COM
BIORECEPTIVIDADE NA REGIÃO DE FOZ DO IGUAÇU/PR**

VICTOR RAUL SOSA GONZALEZ

Foz do Iguaçu, PR
Dezembro de 2017



Ministério da Educação
Universidade Federal da Integração Latino-Americana
Instituto de Tecnologia, Infraestrutura e Território
Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura

DESENVOLVIMENTO DE UM MICROCONCRETO COM BIORECEPTIVIDADE NA REGIÃO DE FOZ DO IGUAÇU/PR

VICTOR RAUL SOSA GONZALEZ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da UNILA, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Carolina Parapinski dos Santos

Foz do Iguaçu, PR
Dezembro de 2017

DEDICATÓRIA

A mi familia y amigos, por todo el apoyo recibido.

Gracias/ Obrigado/ Thank you

AGRADECIMENTOS

É quase impossível expressar em palavras a gratidão que tenho com todos aqueles que me ajudaram intelectual e emocionalmente durante todos os anos de estudo. Assim, pelo apreço que tenho com cada um de vocês, vou expressar meus agradecimentos em espanhol, português, inglês e catalão.

A mi familia, por el apoyo emocional e incentivo en todo momento “*Mismo estando en diferentes continentes, aun continuamos unidos*”.

A minha orientadora, a professora Doutora Ana Carolina Parapinski dos Santos, pela paciência na orientação e suporte que tornaram possível a conclusão desse trabalho.

La meva admiració i respecte a la Doctora Sandra Manso Blanco de la Universitat Politècnica de Catalunya, per les hores de vídeo trucades i intercanvi de correus electrònics, sempre pendent del procés i els resultats, pel suport tècnic i científic durant la realització d'aquest treball "La seva experiència i coneixement va fer la tasca més fàcil". Moltes gràcies.

A los grandes amigos que durante estos años en la universidad me enseñaron a ser mejor persona, siempre estando presentes en todo momento. En especial a Susana Zubillaga, Jazmin Arrellaga, Nair Napal, Leticia Ocampos, Juan Pablo Mendez, Eduardo Carrillo y Carlos Giménez.

Aos colegas e amigos do curso de Engenharia civil pelos momentos vividos, jornadas de estudos, viradas de noite e troca de conversa e culturas, em especial a Diane Ubiali, Bruna Seelent, Gissela Chang, Jeniffer Anci, Meire Barbosa, Stefany Cáceres, Jessica Penayo, Gilson Francischini, Jaime Robayo, Yoshin Contreras, Fernando Davies e Aleksey Grando.

A los profesores y compañeros la clase 2016.2 de Ingeniería civil de la Universidad de Guanajuato, por los momentos de conversación, intercambio de culturas y viajes. En especial a la familia Mata Suarez, por haberme dejado ser parte de su familia “*Algún día regresaré a Guanajuato!*”.

To my friends and exchange partners in Guanajuato - Mexico, who despite being in different parts of the world, we still keep in touch especially Keiko Tamura, Mirentxu Vega, Sofia Andersson, Sofia Diaz, Diego Pinilla and Fumiya Kimura.

Aos colegas e amigos de trabalho da SECIC-UNILA pela oportunidade de estagio, pelos momentos de aprendizagem e trocas culturais em especial a João Colpo, Juliana Neves, Jedson Leite, Rosangelo Duarte e Andrey Neto.

Às empresas Buschler & Lepper e Innova Agrotecnologia pelas doações dos reagentes de Fosfato monoamônico e Oxido de magnésio. Sem seu apoio, esse trabalho não seria possível.

Minha admiração aos professores que com sua experiência e conhecimento, me incentivaram a seguir a área de pesquisa em especial a Helenice Sacht, Cesar Winter, Aref Kzam, Ricardo Oliveira, Edna Possan, Glaucia Dalfré, Juan de Dios Garrido, Marcelo Hönnicke e Pedro Konzen. Sem os seus ensinamentos e contribuições, parte este trabalho não seria possível.

Ao Laboratório de Tecnologia de Concreto de ITAIPU, por permitir que utilizasse seu espaço para a elaboração deste trabalho, em especial ao Engenheiro Fabio, e os técnicos, Claudinei e João Bernardino pela ajuda e suporte. E ao Nilo que mesmo estando aposentado, sempre deu suporte em trabalhos anteriores.

Aos técnicos do Laboratório de Química da UNILA, pelo suporte na realização dos ensaios em especial a Paula Santos.

A todos aqueles que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação:

Muito obrigado!
Muchas gracias!

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Patologias causadas por agentes biológicos	19
Figura 3.2. Condições de desenvolvimento do mecanismo de biodeterioração.....	21
Figura 3.3. Camadas do concreto susceptíveis aos microrganismos.....	22
Figura 3.4. Esquema de instalação da biodeterioração estética.....	23
Figura 3.5. Biodeterioração de uma rocha.....	24
Figura 3.6. Esquema do painel multicamada.....	27
Figura 3.7. Componentes do CFM.....	30
Figura 3.8. Efeito do bórax na resistência e tempo de pega do CFM.....	31
Figura 4.1. Granulometria da areia. 0-2 mm (esquerda) e 2-4 mm (direita).....	35
Figura 4.2. Equipamento de destilação da água.....	37
Figura 4.3. Equipamento de pHmetro.....	37
Figura 4.4. Amostras de CFM e CPC.....	37
Figura 4.5. Ensaio da amostra de CFM.....	38
Figura 4.6. Ensaio da amostra de CP II-Z.....	38
Figura 4.7. Ensaio da amostra de CFM.....	39
Figura 4.8. Moldes não convencionais.....	41
Figura 4.9. Moldes convencionais protegidos.....	41
Figura 4.10. Misturador de argamassa.....	42
Figura 4.11. Corpos de prova elaborados.....	42
Figura 4.12. Corpos de prova.....	42
Figura 4.13. Corpos de prova após desmoldagem.....	42
Figura 4.14. Corpos de prova testados.....	43
Figura 4.15. Execução do ensaio.....	43
Figura 4.16. Balança hidrostática.....	44
Figura 4.17. Pesagem das amostras.....	44
Figura 4.18. Manifestação da perda de água.....	44
Figura 5.1. Granulometria da areia.....	46

Figura 5.2. Evolução do pH do CFM.....	47
Figura 5.3. Resistência a compressão do concreto biológico. Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade	48
Figura 5.4. Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade Comparação dos resultados – Determinação da porosidade.....	49
Figura 5.5. Comparação dos resultados – Determinação da porosidade.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Características dos componentes do CFM.....	31
Tabela 4.1. Comparação do pH das águas.....	35
Tabela 4.2. Traços estudados.....	36
Tabela 4.3. Processo de elaboração dos corpos de prova.....	36
Tabela 4.4. Modificações dos traços estudados..	37
Tabela 4.5. Ensaio realizados.....	38
Tabela 5.1. Granulometria do agregado miúdo.....	47
Tabela 5.2. Massa específica do agregado miúdo.....	47
Tabela 5.3. Massa unitária e absorção do agregado miúdo.....	48
Tabela 5.4. Comparação da Massa específica real.....	48
Tabela 5.5. Determinação da consistência normal da pasta.....	49
Tabela 5.6. Resistência média e desvio padrão das amostras.....	49
Tabela 5.7. Determinação da porosidade.....	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Vantagens e desvantagens dos jardins verticais.....	17
Quadro 2. Sistemas de jardins verticais nas edificações.....	17
Quadro 3. Resumo dos tipos de concretos autocicatrizantes.....	25
Quadro 4. Descrição do clima da cidade de Foz do Iguaçu.....	33

RESUMO

O concreto biológico é um material de recente desenvolvimento, cujo propósito é de ser um novo conceito de jardim vertical, com importantes vantagens em questões ambientais e de eficiência energética com relação aos sistemas convencionais. Assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver e avaliar o conceito de bioreceptividade do material frente ao clima da cidade de Foz do Iguaçu/PR. Para tal fim, foram estudadas diferentes dosagens de concreto biológico, com variação do conteúdo de pasta, relação a/c e granulometria. Também, analisou-se os componentes do concreto, bem como, o próprio material de acordo com os seguintes critérios: i) Determinação e caracterização da dosagem do Cimento fosfato de magnésio; ii) Determinação da porosidade e resistência à compressão no estado endurecido do concreto; iii) Avaliação evolutiva da bioreceptividade do material ante exposição ao clima da cidade. Para tais análises, produziu-se amostras com dois tipos de cimento, CFM (Cimento fosfato de magnésio) e CII-Z (Cimento Portland composto com pozolana). O acompanhamento das amostras expostas ao ambiente natural se deu de forma diária e continua durante 8 semanas, registrando o controle mediante fotografias. Com os resultados obtidos, observou-se que a exposição das amostras ao ambiente apresentou a proliferação significativa de microrganismos heterótrofos (fungos) na sua superfície, demonstrando ter a capacidade de crescimento e suporte. Também, verificou-se que a resistência à compressão tem um ligeiro aumento. Desta maneira pode-se concluir que foi viável desenvolver um material com bioreceptividade e com propriedades necessárias para a última camada de um sistema de jardim vertical na região de Foz do Iguaçu/PR.

Palavras-chave: Concreto biológico; Bioreceptividade; Microrganismo; Meio ambiente.

ABSTRACT

The biological concrete is a newly developed material whose purpose is to be a new concept of vertical garden, with important advantages in environmental and energy efficiency issues compared to conventional systems. Thus, this work aims to develop and evaluate the concept of bioreceptivity of the material against the climate of the city of Foz do Iguaçu / PR. For this purpose, different dosages of biological concrete were studied, with variation of the pulp content, a / c ratio and granulometry. Also, the components of the concrete as well as the material itself were analyzed according to the following criteria: i) Determination and characterization of the magnesium phosphate cement dosage; ii) Determination of the porosity and compressive strength in the hardened state of the concrete; iii) Evolutionary evaluation of the bioreceptivity of the material before exposure to the climate of the city. For these analyzes, samples were produced with two types of cement, MPC (Magnesium phosphate cement) and PCII-Z (Portland Cement composed of pozzolana). The monitoring of samples exposed to the natural environment occurred daily and continued for 8 weeks, recording the control through photographs. With the results obtained, it was observed that the exposure of the samples to the environment showed a significant proliferation of heterotrophic microorganisms (fungi) on their surface, showing the capacity of growth and support. Also, it has been found that the compressive strength has a slight increase. In this way it can be concluded that it was feasible to develop a material with bioreceptivity and with properties necessary for the last layer of a vertical garden system in the Foz do Iguaçu / PR region.

Keywords: Biological concrete; Bioreceptivity; Microorganisms; Environment.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	14
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 Histórico do desenvolvimento	16
3.2 Jardins verticais	16
3.3 Bioreceptividade do concreto	18
3.3.1 Agentes biológicos no concreto	19
3.3.2 Impacto dos microrganismos no concreto	21
3.4 Tipos de concreto biológicos	24
3.4.1 Concreto autocicatrizante	24
3.5 Sistema construtivo com Concreto biológico	26
3.5.1 Cimento Fosfato de Magnésio	28
3.6 Dificuldades de sua produção a escala industrial	31
3.7 Influência do clima	32
3.7.1 Clima de Foz do Iguaçu - PR	32
4. METODOLOGIA	34
4.1 Introdução	34
4.2 Caracterização dos materiais	34
4.2.1 Granulometria	34
4.2.2 Massa específica	35
4.2.3 Massa unitária	35
4.2.4 Água de amassado	35
4.3 Desenvolvimento da dosagem de Cimento fosfato de magnésio	36
4.3.1 Massa específica real	36
4.3.2 Consistência normal da pasta	36
4.3.3 Determinação do tempo de pega	37
4.3.4 pH do Cimento	37
4.4 Desenvolvimento do concreto biológico	37
4.4.1 Corpos de prova elaborados com CFM	38
4.5 Caracterização da porosidade	40

4.5.1 Absorção de água por capilaridade	40
4.5.2 Volume de vazios	41
4.5.3 Princípio de Arquimedes	42
4.6 Resumo dos ensaios	44
5. RESULTADOS	45
5.1 Introdução	45
5.2. Evolução do pH do Concreto	47
5.3 Resistência à compressão no estado endurecido	48
5.4 Caracterização da porosidade	49
5.4.2 Volume de vazios	50
5.5 Análise da bioreceptividade em ambiente natural	51
5.5.1 Localização	43
5.5.2 Coleta e análise de amostras	44
5.5.3 Resultados e análises	51
6. CONCLUSÕES	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A crescente preocupação com os problemas que afetam o ecossistema tem provocado um maior interesse pela construção sustentável e responsável, que responda melhor às condições meio-ambientais e demande um menor consumo energético (NAVARRO, 2013). As constantes emissões geradas pelos veículos que diariamente circulam pelas cidades geram contaminação do ar através da queima de combustíveis. Estas emissões afetam diretamente a saúde da população e contribui significativamente ao conhecido efeito estufa (MANSO, 2014). Com as infraestruturas verdes como os tetos verdes, jardins verticais, parques lineares entre outros, fomenta-se o uso e a conservação dos espaços verdes nas áreas urbanas, como também a regulação do conforto térmico e a recepção de gases contaminantes presentes na atmosfera. Além disso, acrescentam um valor estético na zona estabelecida e um suporte para a biodiversidade presente nessa região, capaz de se converter em um instrumento para a estimulação e interação social de seus habitantes (OTTELÉ, 2011).

Apesar das várias vantagens destas infraestruturas, os custos de instalação e manutenção são altos, sendo necessárias soluções alternativas. Com o avanço da ciência e tecnologia, foram desenvolvidos materiais derivados de pesquisas biogenéticas, cuja capacidade é de se adaptar às mudanças do clima, como os microrganismos (MANSO, 2014).

Nesse sentido foi desenvolvido um sistema construtivo composto por quatro camadas, sendo uma delas o concreto biológico. Este sistema pretende ser um novo conceito de jardim vertical, permitindo que os microrganismos cresçam diretamente na fachada, trazendo vantagens ambientais, térmicas e decorativas, além de facilitar sua instalação e manutenção. Essas vantagens tornam-o aptas para aplicações tanto em construções novas como para em reabilitação, promovendo valor estético à edificação (MANSO et al, 2014).

Ressalta-se que este assunto é de recente desenvolvimento, havendo poucas pesquisas relacionadas com este tema. Portanto, neste trabalho foi realizado um estudo focado na camada biológica. Desenvolveu-se um material com bioreceptividade que permite o crescimento de microrganismos na sua superfície. Além de avaliar sua adaptabilidade às condições climáticas da cidade de Foz do Iguaçu/PR estacando-se suas vantagens e propriedades.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um microconcreto com bioreceptividade que permita o crescimento de microrganismos da região de Foz do Iguaçu/PR.

2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, serão necessários os seguintes objetivos específicos:

- a) Realizar um estudo de dosagem para o microconcreto elaborado com cimento fosfato de magnésio (CFM);
- b) Desenvolver um CFM, com características físicas e químicas, que favoreçam o crescimento acelerado de microrganismos;
- c) Avaliar a resistência à compressão do microconcreto com bioreceptividade;
- d) Analisar a bioreceptividade do material em ambiente controlado e natural.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente capítulo será exposta uma visão geral sobre o concreto biológico e a influência dos jardins verticais no seu desenvolvimento, bem como suas particularidades, especificamente sobre as considerações e critérios de elaboração, dosagem, materiais, microrganismos, ensaios mecânicos e biológicos entre outros.

3.1 Histórico do desenvolvimento

O conceito de cidades sustentáveis envolve também as edificações, especialmente naquelas em que os espaços disponíveis para as áreas verdes são escassos. Em função disso, foram desenvolvidas tecnologias para incluir a vegetação como uma cobertura ou fachadas da edificação. Estes sistemas normalmente apresentam altos custos de instalação e de manutenção, além de baixo nível de integração com a estrutura, cargas extras, limitações de seu uso em projetos de reabilitação, entre outros (MANSO, 2014).

3.2 Jardins verticais

Nos dias de hoje, temas de preocupação ambiental como o efeito estufa, a contaminação da água e ar, o crescimento populacional e a perda da biodiversidade, impulsionam uma discussão sobre estratégias de mitigação desses fenômenos, apoiando um movimento verde e contribuindo para que se adquira uma consciência para a preservação da natureza (BURAGLIA et al., 2011).

Diferentes tecnologias foram desenvolvidas para incluir um revestimento vegetal nas edificações, tais como paredes e telhados verdes. Um telhado, muro ou fachada verde é uma área coberta com vegetação a qual cresce diretamente na superfície ou em um sistema estrutural separado que possa ser independente ou unido à parede (MANSO, 2014). Mais segundo Ottelé (2011), as fachadas verdes, muros vivos e os jardins verticais são termos descritivos que se empregam para se referir a todas as formas de superfícies vegetais. Desde o solo, as fachadas tradicionais e as técnicas modernas visam criar os muros verdes através da inclusão de diferentes espécies de vegetação, mediante vários sistemas de crescimento controlado de plantas, sendo o mais conhecido, o sistema hidropônico¹.

Existem diversas técnicas e procedimentos para fixar e cultivar as plantas, entre eles, a seleção de espécies de pequeno porte, que tenham capacidade de crescer verticalmente (GONZALEZ, 2015). Essa técnica possui algumas vantagens e desvantagens que são expostas no Quadro 1.

¹Sistema hidropônico: Sistema de cultivo de plantas caracterizado por não precisar de terra (solo). As raízes das plantas ficam dentro da água. Soluções fertilizantes são adicionadas à água para alimentar as plantas (OTELLÉ, 2011).





Quadro 1. Vantagens e desvantagens dos jardins verticais.

Vantagens	Desvantagens
<p>Peso reduzido: Esses sistemas são os mais leves do mercado. O peso por metro quadrado concluído é aproximadamente 30 Kg/m², diante dos 150 Kg/m² dos outros sistemas.</p> <p>Isolante térmico: No verão, reduz a temperatura ambiente, por meio da sombra das folhas e de evapotranspiração. As folhas e os microrganismos associados a elas limpam o ar ao capturar contaminantes atmosféricos.</p> <p>Estética: Sendo este uma das principais vantagens, permite empregar numerosas espécies de plantas, variedade de desenhos e liberdade artística.</p>	<p>Inversão inicial: Esse tipo de sistemas tem um alto custo de implantação, tendo necessidade de complexos sistemas de suporte, equipes de irrigação e osmose, bombas de impulsão, etc.</p> <p>Instalação: Necessita de pessoas qualificadas para uma instalação cuidadosa.</p> <p>Manutenção: Esses sistemas necessitam de manutenção periodicamente.</p>

Fonte: Adaptado de Ottelé (2011) e Gonzalez (2015).

Existem diversos tipos de sistemas de jardins verticais, como aqueles com comportamento de ventilação, fachadas vegetais com proteção solar, moveis, entre outras. No Quadro 2 são descritos os sistemas de maneira resumida.

Quadro 2. Sistemas de jardins verticais nas edificações.

Especificação	Descrição	Imagem	Fonte
Convencional	Sistema vegetal natural, onde a vegetação cresce sem interferência do homem. Fácil manutenção melhora o conforto e a estética da edificação.		(OTTELÉ, 2011).
Fachada verde ventilada	Semelhante ao convencional propõe criar uma segunda pele entre a fachada da edificação e o ambiente externo. O custo de manutenção é baixo e de fácil instalação		(OTTELÉ, 2011); (GONZALEZ, 2015).
Fachada verde ventilada com proteção solar	Funciona como ventilação higiênica, térmica e de proteção solar. Emprega elementos vegetais como resposta térmica variável, melhorando o conforto e a estética da edificação. Ainda está em fase de estudo		(NAVARRO, 2013); (GONZALEZ, 2015).
Moveis	É um método de proteção solar móvel, que incorpora o suporte para o crescimento de espécies, reduzindo a temperatura e melhorando a qualidade do ar nas áreas desejadas		(GONZALEZ, 2015).

3.3 Bioreceptividade do concreto

A bioreceptividade é a capacidade atribuída a um material de ser colonizado por um ou mais grupos de organismos vivos, sem ser necessariamente deteriorado. O termo colonizado significa que o material deverá proporcionar aos microrganismos as condições de fixação, crescimento e expansão (MANSO et al, 2014a). O potencial bioreceptivo de um material pode ser analisado em função de suas propriedades intrínsecas, ou seja, aquelas inerentes ao próprio material; ou extrínsecas, quando ocorre uma alteração na sua estrutura, devido a fatores externos como a deposição, em sua superfície, de partículas ou substâncias estranhas a sua composição original (MORAES; RIBAS, 2011).

Segundo Turris et al. (2013) a colonização microbiana pode modificar a microestrutura e a umidade do material. Este processo de natureza mineral é altamente variável, sendo controlada pela rugosidade superficial, a porosidade inicial e capilar e pela natureza mineralógica do material (GUILLITE; DREESSEN, 1995). A rugosidade superficial é responsável pela ancoragem dos microrganismos sobre o material, enquanto a porosidade, principalmente a capilar, influi diretamente na absorção e na retenção da água necessária para seu metabolismo, tornando-se assim, em uma das principais propriedades do material a favorecer uma colonização (MANSO et al, 2015).

O concreto é um material de natureza mineral, cuja rugosidade e porosidade proporcionam um potencial considerável de bioreceptividade, possibilitando a fixação do microrganismo e mantendo o teor de água no ambiente, necessário para seu crescimento (MORAES; RIBAS, 2011). Guillite e Dreesen (1995) comprovaram que este material possui um alto índice de bioreceptividade em comparação com outros tipos de materiais de construção. Entretanto, vale ressaltar que os diferentes tipos de concretos, proporcionarão potenciais bioreceptivos diferentes, apresentando menor potencial aqueles com permeabilidade reduzida.

O concreto é altamente alcalino ($12 \leq \text{pH} \leq 14$) e com pequena variedade de microrganismos capaz de crescer e se desenvolver nesse ambiente. Esse agente é classificado como *alkalinophilic* (MANSO; AGUADO, 2017). Entretanto o concreto, em geral está exposto às condições ambientais (agentes poluentes, dióxido de carbono) que podem modificar essa condição inicial, reduzindo o pH do material, de forma a aumentar a sua bioreceptividade (MORAES; RIBAS, 2011).

Nesse sentido, o potencial bioreceptivo do concreto depende da interação com o ambiente externo, inclusive com as fontes de nutrientes necessárias às atividades metabólicas dos microrganismos, para seu desenvolvimento e crescimento (MORAES;

RIBAS, 2011). Os organismos heterótrofos requerem de material orgânico, porém, os microrganismos autótrofos fotossintéticos tais como as algas e cianobactérias usam a luz solar como fonte de energia e o dióxido de carbono do ambiente como fonte de carbono (TURRIS et al, 2013).

3.3.1 Agentes biológicos no concreto

As estruturas de concreto encontram-se expostas à ação do meio ambiente que, em certos casos, pode ter alta concentração de agentes agressivos à natureza do material. A ação sinérgica desses agentes pode proporcionar a deterioração precoce do material, reduzindo a sua durabilidade, seu desempenho e sua vida útil (MORAES; RIBAS, 2011).

A colonização biológica indesejável é comum em estruturas de concreto, como monumentos, edifícios históricos ou construções simplesmente velhas. Esse processo acontece devido a três fatores interconectados: a presença de organismos vivos no ambiente, as condições ambientais e as propriedades de um material (MANSO, 2014).

Segundo Moraes e Ribas (2011) os danos ocasionados às estruturas de concreto envolvem critérios que abrangem desde os aspectos estéticos até o comprometimento estrutural, como fissuras, eflorescências e manchas que, inicialmente não levam às estruturas a um estado de falência, mas são inaceitáveis pelo mercado da construção. Nesse sentido, é imprescindível o conhecimento dos mecanismos de deterioração, de forma a serem desenvolvidos métodos de prevenção e tratamentos para evitar as possíveis aparições. Na Figura 3.1 são apresentadas as patologias que podem apresentar as estruturas de concreto.

Figura 3.1. Patologias causadas por agentes biológicos.

Sobre a superfície da parede

Sobre as sarjetas



(a)

(b)

Entre os diferentes agentes agressivos do meio, que proporcionam a deterioração do concreto, encontram-se os agentes biológicos, em particular os microrganismos, que interagem com o material e o meio, proporcionando o desenvolvimento de mecanismos de deterioração do material. Esse mecanismo de deterioração, envolvendo a ação do agente biológico, é denominado de biodeterioração (GUILLITE, 1995) e tenta definir os efeitos

negativos do crescimento biológico sobre os materiais de construção e mecanismos para prevenir a bio-incrustação² (MANSO, 2014). Os primeiros registros da ação dos agentes biológicos sobre material de natureza mineral como as rochas e solos, sob o ponto de vista da biodeterioração foram relatados por Bachmann em 1890. Já em estruturas de concreto, os primeiros relatos datam de 1945 e são referentes às estruturas de concreto em ambientes de esgotos, onde as tubulações de concreto, sob a ação de bactérias sulfo-redutoras e sulfo-oxidantes, foram completamente destruídas (PARKER, 1945).

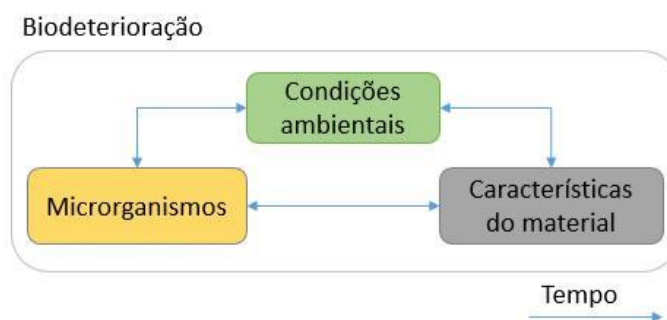
O estudo da biodeterioração, em estrutura de concreto em serviço e argamassa de cimento, teve seu início na década de 80 com publicação de resultados. A partir da década dos 90, estas pesquisas mostraram: a presença de microrganismos nos mecanismos de deterioração do material, a simulação em ambientes de laboratório, a ação dos microrganismos sobre o concreto e argamassa e nas ações preventivas e tratamento para a biodeterioração do concreto (MORAES; RIBAS, 2011).

O mecanismo de biodeterioração é complexo e multidisciplinar, envolvendo conhecimento de materiais, química e microbiologia, o qual, a magnitude do dano causado depende da interação sinérgica dos fatores ambientais, da presença dos microrganismos e das características intrínsecas do ambiente (MORAES; RIBAS, 2011).

Outro fator que afeta a magnitude do dano à estrutura é o tempo, o qual é fundamental para a instalação e o crescimento dos microrganismos sobre o material, cuja interação pode alterar suas condições microestruturais. A instalação dos organismos no interior da estrutura pode alcançar profundidades que comprometam sua vida útil, acelerando o desenvolvimento de outros mecanismos de deterioração e afetando sua durabilidade (MORAES; RIBAS, 2011).

A biodeterioração é um mecanismo que não ocorre de forma isolada, mas depende da interação das características intrínsecas do material, da bioreceptividade, das características extrínsecas ao material (presença de ambiente de microrganismos e condições favoráveis para sua sobrevivência) e tempo, fator necessário para que o mecanismo se processe (MORAES; RIBAS, 2011). Na Figura 3.2 são apresentadas as condições de desenvolvimento do mecanismo de biodeterioração.

² Bio-incrustação: Acumulação de microrganismos vivos encontrados em superfícies molhadas (MANSO, 2014).

Figura 3.2. Condições de desenvolvimento do mecanismo de biodeterioração.

Fonte: Adaptado de Moraes e Ribas (2011).

Todos os materiais de construção podem ser colonizados por microrganismos (principalmente bactérias e fungos) dependendo das horas de exposição em água natural e em muitos ambientes atmosféricos, como também de aqueles presentes no mecanismo de biodeterioração do concreto, como as algas, as leveduras, os líquens e os protozoários (TURRIS et al, 2013). Os fatores ambientais são os relacionados ao metabolismo dos microrganismos, como a presença de água, nutrientes e fontes de carbono, a temperatura, o pH e a concentração de oxigênio (MANSO; AGUADO, 2016). As características do material estão relacionadas às condições, oferecidas pelo material, de ser colonizado e ter a sua estrutura alterada, devido à ação desses agentes (GUILLITE, 1995). Devido a que estas bactérias precisam de umidade e nutrientes específicos, o impacto das mesmas vê-se em construções expostas em condições com umidade relativa e temperatura ambiente, tais como torres de esfriamento e sistemas de drenagem, assim como edificações expostas a climas tropicais e subtropicais, como no Brasil e na Austrália (TURRIS et al, 2013).

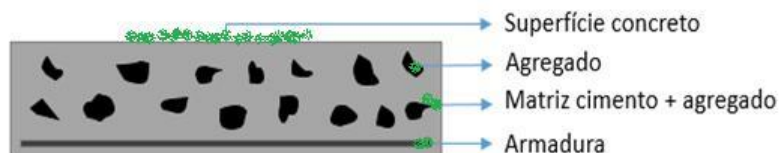
3.3.2 Impacto dos microrganismos no concreto

Os principais microrganismos envolvidos no mecanismo de biodeterioração do concreto são as algas, os fungos, as bactérias e os líquens, tendo sido também observados alguns tipos de leveduras e protozoários. Esses microrganismos se fazem presentes tanto na sua superfície como no interior dos concretos deteriorados (PINHEIRO; RIBAS, 2003). Segundo Moraes e Ribas (2011) os principais fatores ambientais que proporcionam o crescimento e o desenvolvimento desses microrganismos no concreto são:

- A água livre no ambiente, proporcionada pela umidade relativa do ambiente;
- Os ciclos de molhagem e secagem, devido a infiltrações e períodos de chuva intensa;
- Os altos índices de dióxido de carbono (CO₂), presentes em ambientes urbanos;
- Os altos índices de íons de cloretos e sulfetos;
- Os altos índices de poluentes atmosféricos, constituídos essencialmente de ácidos graxos e hidrocarbonetos.

São também considerados fundamentais: as concentrações de oxigênio, a incidência de luminosidade, pH e a temperatura. A ação deteriorante dos microrganismos no concreto ocorre tanto na superfície como no interior do material, sendo capaz de alterar todas as suas fases: na matriz de cimento, nos agregados, na sua armadura, no caso de estruturas de concreto armado, etc. (MORAES; RIBAS, 2011). Na Figura 3.3 é ilustrado as fases do concreto susceptíveis à ação de microrganismos.

Figura 3.3. Camadas do concreto susceptíveis aos microrganismos.



Fonte: Adaptado de Moraes e Ribas (2011).

A ação dos agentes biológicos ocorre em todas as fases do concreto e atua principalmente, na alteração de sua microestrutura (VIDELA, 2003).

Portanto, as colonizações e a biodeterioração dos materiais de construção geralmente estão vinculadas às condições ambientais. Os parâmetros mais importantes que afetam o crescimento microbiano estão não só representado pelos fatores físicos (principalmente umidade, temperatura e luz), mas também com a natureza química do substrato (TURRIS et al, 2013).

3.3.2.1 Matriz de cimento

O concreto é considerado bioreceptivo, devido às suas propriedades físicas (rugosidade e porosidade), mas devido à sua natureza mineralógica, alto pH (altamente alcalina) e compostos hidratados da pasta de cimento, encontram-se imune à ação de microrganismos (MORAES; RIBAS, 2011). No entanto, as condições e fatores ambientais reduzem o pH do material, criando microambientes que permitem o desenvolvimento dos microrganismos sobre sua superfície, formando biofilmes³ (MORAES; RIBAS, 2011).

A presença do biofilme sobre a superfície do concreto promove o surgimento de patinas biológico e manchas, instalando sobre o material a biodeterioração estética (MORAES; RIBAS, 2011). Na Figura 3.4 é ilustrado o processo de crescimento biológico na superfície do concreto.

³Biofilme: Conjunto de bactérias mantidas unidas por uma matriz mucosa de carboidratos que adere a uma superfície. O biofilme pode se formar na superfície de líquidos, sólidos e tecidos vivos (MANSO, 2014).

Figura 3.4. Esquema de instalação da biodeterioração estética.

Fonte: Adaptado de Moraes e Ribas (2011).

Após a instalação do biofilme, pode ocorrer uma interação entre os produtos metabólicos (geralmente de natureza acida) e os constituintes da pasta de cimento, resultando na solubilidade e posterior lixiviação dos compostos como o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 (ESCADEILLAS et al, 2009). A propriedade coesiva da pasta pode ser reduzida, podendo haver formação de sais, com volumes maiores do que os compostos hidratados anteriormente existentes, ocasionando uma microfissuração no material, dessa forma se instalam a biodeterioração física e química no material (MORAES; RIBAS, 2011).

A interação dos produtos metabólicos com os compostos hidratados da pasta de cimento aumenta a porosidade do material, inclusive a capilar, bem como o surgimento de microfissuras, que proporcionam avanço do microrganismo para o interior do concreto. A ação dos organismos sobre o concreto não ocorre somente pela ação de seus produtos metabólicos, mas também quando retiram de seus constituintes os elementos necessários para a sua nutrição (MORAES; RIBAS, 2011).

3.3.2.2 Agregados

Os agregados do concreto também estão sujeitos ao mecanismo de biodeterioração. Nessa fase do concreto, a colonização depende principalmente da natureza mineralógica do agregado (MORAES; RIBAS, 2011). Os agregados calcários são susceptíveis à biodeterioração por meio de um mecanismo semelhante à argamassa, quando os componentes cálcicos são solubilizados, principalmente pela ação de metabolitos ácidos produzido pelos microrganismos (MORAES; RIBAS, 2011). Na Figura 3.5 é indicada a colonização de microrganismos sobre agregados.

Figura 3.5. Biodeterioração de uma rocha.



3.3.2.3 Armadura

Os microrganismos podem iniciar ou acelerar o processo de corrosão das armaduras de estruturas de concreto armado, atuando principalmente, na modificação do ambiente da interfase concreto/armadura, de forma a desestabilizar a camada protetora da armadura, promovendo o ingresso e a ação de substâncias agressivas ao material. O contato dessas substâncias com a armadura cria uma gradiente física e química sobre a superfície do material, ativando as células eletroquímicas de corrosão (VIDELA, 2003). O mecanismo de corrosão da armadura, promovida pela ação de microrganismos, é chamado de corrosão microbiológica.

3.4 Tipos de concreto biológicos

O concreto biológico pode ser definido como um material com características especiais, obtido pela inclusão de microrganismos, seja na sua matriz cimenteira como na sua superfície, trazendo vantagens seja estruturais, funcionais e estéticas, que dependendo da finalidade do material, pode ser empregado como alternativa econômica para a conservação das construções, como também com interesse médio ambiental, jogando um papel estético na edificação (MANSO, 2014). Neste tópico serão tratados os diferentes tipos de concreto biológicos, explicando brevemente os diferentes tipos de concretos autocicatrizante e finalmente serão mencionados o concreto biológico para muros verdes, sendo expostos, os componentes, processos de elaboração, curiosidades etc. (MANSO, 2014).



3.4.1 Concreto autocicatrizante

O concreto autocicatrizante é um tipo de concreto especial, o qual consiste na cicatrização ou fechamento das fissuras ou trincas provocadas pelo sobre carregamento ou outras condições de uso das estruturas, através do preenchimento dos espaços das fissuras com produtos da hidratação do cimento Portland, pela inclusão de fibras que limitam a abertura das fissuras, uso de agentes retentores de água que conferem maior umidade ao concreto nas proximidades das fissuras, ou pelo uso de agentes cicatrizantes poliméricos ou

biológicos, de forma a recuperar parcialmente a resistência e aumentar a vida útil das construções (JONKERS, 2012).

A cicatrização natural ocorre fundamentalmente pelo preenchimento dos espaços das fissuras com produtos da hidratação das porções anidras de cimento Portland remanescentes no concreto (LONGUINI, 2011). Em caso de fissuras de maior abertura, a água penetra pelo concreto e nas proximidades da fissura, atingindo parte do cimento anidro e provocando sua hidratação, como resultado, decorre na deposição dos hidratos no espaço entre as paredes da greta, que com ajuda do dióxido de carbono livre no ambiente urbano, conclui com o completo fechamento da abertura (JONKERS; SCHLANGEN, 2008). No Quadro 3 são resumidos alguns tipos de concretos autocicatrizantes.

Quadro 3. Resumo dos tipos de concretos autocicatrizantes.

Especificação	Descrição	Imagem	Fonte
Concreto autocicatrizante com fibras	Incorpora fibras de acetato de polivinila (PVA), carbono, metálicas ou mesmo vegetais, para aumentar sua capacidade autocicatrizante, através da formação de compostos hidratados e depois carbonatados no interior das fissuras.		(LONGUINI, 2011); (KAN et al, 2010).
Concreto autocicatrizante com retentores de água	Emprega agentes retentores de água, como os polímeros superabsorventes e os agregados sílico-calcáreos, para favorecer a cura interna do concreto, além de aumentar a capacidade autocicatrizante dos concretos.		(LONGUINI, 2011); (KIM;SCHLANGER, 2010).
Concreto autocicatrizante com agentes cicatrizantes encapsulados	Incorporam agentes cicatrizantes, poliméricos ou minerais que podem ser liberados ao longo das fissuras, através da ruptura de cápsulas que os contêm. Os agentes encapsulados são polímeros, substrato de poliuretano ou epóxi, ou mesmo de agentes cristalizantes.		(LONGUINI, 2011); (KAN et al, 2010).
Concreto autocicatrizante com agentes biológicos	Emprego de bactérias do tipo <i>bacillus</i> , produzindo Carbonato de cálcio (CaCO ₃) pela conversão metabólica do lactato de cálcio e reagindo com o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento, fechando as fissuras e possibilitando a recuperação parcial da vida útil da estrutura.		(JONKERS,2012); (JONKERS; SCHLANGER, 2008).

3.5 Sistema construtivo com Concreto biológico

O concreto biológico também chamado de concreto verde é um material que apresenta vantagens ambientais, de conforto e ornamentais, em termos de construção de fachadas verdes (MANSO; AGUADO, 2016). As vantagens significativas deste material sobre os sistemas tradicionais, é que permite a proliferação de organismos diretamente na superfície de concreto, o que facilita o trabalho de colocação e manutenção, tornando-o adequado para as construções novas e reabilitação. Além das vantagens mencionadas, podemos destacar a sua contribuição para a redução da poluição, uma vez que os tipos de musgos e líquenes usados absorvem CO₂ e convertem-lo em O₂, contribuindo assim para a melhoria da qualidade ambiental (MANSO, 2014).

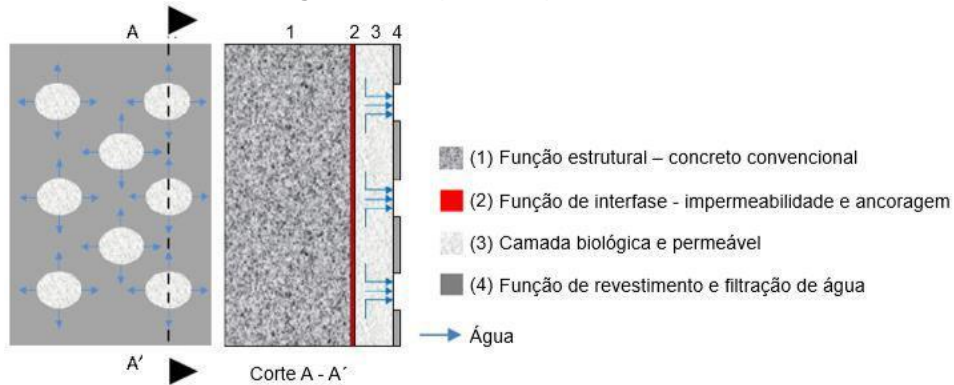
De forma a chegar a tal objetivo, pesquisadores da Universidade Politécnica de Catalunha (UPC, BarcelonaTech) desenvolveram e patentearam um sistema construtivo em base a um cimento de baixo pH, cuja função principal é de servir como suporte biológico para o crescimento e desenvolvimento de determinados microrganismos, em particular, certas famílias de ⁴cianófitas, ⁵clorófitas e ⁶briófitas, para implementá-los nas áreas de interesse de uma edificação nova ou já existente como elemento ornamental (MANSO et al, 2014).

Este sistema está dividido em quatro camadas diferentes que permitem integrar diferentes funcionalidades e fornecer um elemento final com diferentes potenciais aplicações. Além disso, uma das principais diferenças em comparação com os sistemas existentes é que este sistema é baseado no crescimento direto dos organismos na superfície do material de suporte sendo também seletivo e não totalitário, de tal modo que o suporte jogara um papel fundamental e permitirá uma grande variedade de desenhos ao ter áreas de crescimento preferencial, onde as condições serão as adequadas para a proliferação (MANSO; AGUADO, 2016). Na Figura 3.6 é ilustrado o conjunto desenvolvido pela UPC.

⁴ Cianófitas: Comunidade de cianobactérias capazes de realizar fotossíntese oxigênica.

⁵ Clorófitas: Comunidade de algas verdes, em sua maioria aquática fotossintéticos.

⁶ Briófitas: Grupo de plantas terrestres verdes sem raízes e sem flores (ESCADEILLAS, 2009).

Figura 3.6. Esquema do painel multicamada.

Fonte: Adaptado de Manso e Aguado (2016).

A primeira camada corresponde à camada estrutural elaborado com concreto convencional. Além disso, suas propriedades não estarão relacionadas à bioreceptividade ou à cobertura biológica, sendo produzidas de acordo com as especificações do projeto. A segunda camada tem a função principal de proteger à camada estrutural, com uma capacidade de impermeabilização e pode melhorar a adesão entre a primeira e a terceira camada. De acordo com a patente, a segunda camada deve ser testada através do uso de diferentes materiais de argamassa convencional para resinas (MANSO; AGUADO, 2016).

O parâmetro principal envolvido na seleção do material é o processo térmico entre a primeira e a terceira camada, que dependerá da natureza química de ambos. A terceira camada corresponde àquela com bioreceptividade ampliada, melhorando a capacidade de retenção de água, bem como a estimulação da colonização biológica (MANSO; AGUADO, 2016). A composição química da terceira camada pode variar dependendo da colonização preferida por meio do uso de materiais com um pH variando de 5,5 a 9. Portanto, o concreto carbonatado de cimento Portland pode ser usado para o crescimento de organismos vivos, que crescem em um pH ligeiramente alcalino e o uso de cimento de fosfato de magnésio (CFM) para o crescimento de organismos vivos em um pH ligeiramente ácido ou neutro (MANSO; AGUADO, 2016). A espessura da camada é determinada pela região de implantação e o seu tempo associado, pode situar-se entre 3 e 5 cm. Considera-se também o componente fiscal conjunto de distâncias entre as áreas colonizadas. Em ambos os casos, o teor de ligante será na faixa de entre 275 e 375 kg/m³ (MANSO et al, 2014).

O cimento de fosfato de magnésio deve ser elaborado a partir de dois compostos químicos diferentes: uma fonte de magnésio e outra de fosfato. Então, o uso de um retardador também é necessário; sendo o composto de boro, o reagente mais favorável para o CFM. Finalmente, a última camada corresponde a uma camada descontínua que contribui para o design da parte frontal do painel (VÉRAS et al, 2007). Além disso, ao agir como uma camada impermeável à prova de água, a água da chuva é absorvida pelo painel, enquanto

ela simplesmente poderia evaporar pelas áreas onde essa camada não era aplicada. Conseqüentemente, as áreas sem a quarta camada permitem a colonização de microrganismos, redirecionando também a água dentro do painel através dessas áreas, promovendo melhores condições para os organismos vivos. Além disso, este sistema visa reduzir ou mesmo remover os custos de manutenção relacionados a um sistema de irrigação, sendo esta última camada ainda está em pesquisa (MANSO; AGUADO, 2016).

Mais especificamente, no caso da utilização de um cimento convencional para a produção da camada biológica, um aditivo ácido deve ser selecionado, como o ácido oxálico, o que permite a redução do pH da mistura, enquanto minimiza o impacto que podem ter sobre as propriedades físico-químicas da mistura. O teor dos aditivos no caso de ácido oxálico é entre 10 e 13% em peso do ligante. A relação água/cimento deve ser estipulada, dependendo do grau desejado de porosidade do material final, sendo em qualquer caso, compreendida entre 0,3 e 0,6. (MANSO et al, 2014).

Por outro lado, se um tipo de ligante CFM é usado, as exigências são diferentes por causa da natureza diferente do próprio ligante. Este material foi utilizado anteriormente para outros fins, os quais deram origem a diferentes patentes em áreas de construção (VÉRAS et al, 2007).

3.5.1 Cimento Fosfato de Magnésio

O cimento Fosfato de Magnésio (CFM) é um material desenvolvido por meio de reações entre um componente ácido e outro básico sendo, portanto, chamados de cimentos ácido-base. Os produtos de reação, usualmente um sal ou gel, formam uma matriz de cimento em que os fillers estão dispersos (VÉRAS et al, 2007).

Este tipo de cimento pertence à família das chamadas Cerâmicas quimicamente ligadas (*do inglês chemically bonded ceramics*), uma nova classe de materiais inorgânicos que possuem propriedades físico-químicas especiais que, ao contrário da maioria das cerâmicas avançadas, são obtidas processando o material à temperatura ambiente, podendo ser combinados com vários outros materiais para formar materiais compósitos e satisfazendo às necessidades de materiais de alto desempenho (YANG; WU, 1999). Se comparada aos cimentos hidráulicos em geral, onde suas reações de pega ocorrem também à temperatura ambiente, esta classe de cimentos possui propriedades superiores, tanto mecânicas quanto químicas, fruto de inovações no processamento, manipulação microestrutural e modificação composicional. Isso se deve principalmente ao seu tipo de ligação química, uma mistura majoritária de ligações iônicas covalentes, muito mais fortes

que a força de Van der Waals e pontes de hidrogênio encontradas nos cimentos hidráulicos tradicionais (MANSO et al, 2014a).

Este aglomerante é resultado a partir da mistura de uma fonte de fosfato, o fosfato de di-amônio hidrogênio ou monoamônico ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), e de magnésio, óxido de magnésio (MgO). A reação entre os compostos é muito rápida e exotérmica, pois os materiais muitas vezes não podem ser usados naturalmente (VÉRAS et al, 2007). Durante este período, ocorre uma mudança brusca no pH da solução, ocasionando uma posterior dissociação do MgO presente a partir de uma reação ácido-base. Os atuais materiais comerciais são formulados com material inerte barato como areia, cinza volante, dentre outros para controlar a taxa de reação ou tempo de pega e, ao mesmo tempo, gerar alta resistência inicial à compressão. Cimentos de fosfato para aplicações comerciais são geralmente baseados nas reações entre um óxido metálico e um sal ácido ou derivado de ácido fosfórico (VÉRAS et al, 2007).

Dentre as diversas matérias-primas básicas utilizadas para a fabricação dos cimentos de fosfato de magnésio, destacam-se o MgO calcinado, a dolomita calcinada e os aluminatos de alcalinos (YANG; WU, 1999). Dentre os componentes ácidos, destacam-se os fosfatos de metais alcalinos e de amônia, particularmente os fosfatos diácidos monobásicos. Destes, o composto mais largamente utilizado é o monofosfato di-hidrogênio amônia ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) também conhecido como ADP, utilizado como fertilizante na agricultura (VÉRAS et al, 2007).

O cimento Fosfato de Magnésio ou CFM é pouco conhecido na indústria da construção. Tem que se dizer que não foi descoberto recentemente existe vários estudos em que são expostas suas propriedades e propõem-se algumas aplicações. No caso do estudo realizado por Popovics et al (1987) propuseram este material como cimento de rápido tempo de pega e que pode ser utilizado para a reparação de elementos estruturais, especificamente em pavimentos rodoviários. Este material difere totalmente do Cimento Portland, tanto em sua composição química como no seu comportamento durante a pega e processo de endurecimento. Outro campo de aplicação deste material é no âmbito odontológico (FERNANDEZ, 2013).

O CFM baseia sua composição química em dois componentes, o Oxido de Magnésio (MgO) calcinado até a morte e uma fonte de Fosfato, que para este caso foi empregado o Fosfato Monoamônico ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) (MANSO, 2014). Além destes reativos, é recomendável o uso de um terceiro componente de uma fonte de Boro, para melhorar as características de pega. Para este trabalho foi empregado o Bórax ($\text{Na}_4\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) (FERNANDEZ, 2013).

O Óxido de Magnésio (MgO), foi fornecido pela empresa Buschle & Lepper® em sacos de 15 Kg com 94,6% de pureza e foram colocados em ambiente de laboratório. A descrição do produto é OXIMAG BR-15. Cada saco tem uma bolsa fechada hermeticamente. A diferença do Cimento Portland, este material tem uma textura parecida com a farinha e de cor branca.

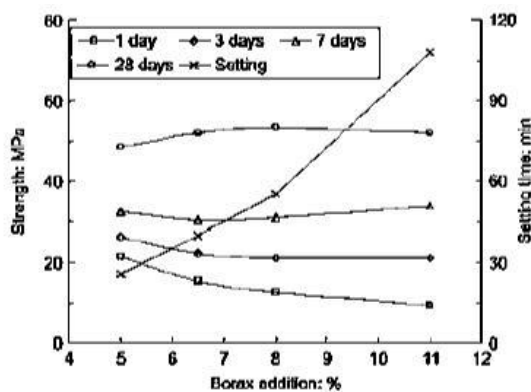
O Fosfato monoamônico ($NH_4H_2PO_4$) foi fornecido pela empresa Innova Agrotecnologia em sacos de 25 Kg. O produto descreve os valores 12-61-0, o qual se refere ao conteúdo de nitrogênio e de fósforo no reagente. A diferença da finura deste material em comparação com os materiais anteriores e sua textura granular e poderia ser comparado com a textura do açúcar.

O Bórax ($Na_4B_4O_7 \cdot 10H_2O$) foi fornecido pela empresa Bórax Argentina S.A com 99,7% de pureza. Foi fornecido em sacolas de 1 Kg. Em comparação com o Óxido de magnésio e o Fosfato, este possui uma textura intermediária entre os anteriores, ficando mais perto do Fosfato, também caracterizado pela cor branca. Na Figura 3.7 se mostra os reativos componentes do cimento fosfato de magnésio.

Figura 3.7. Componentes do CFM. a) Óxido de magnésio b) Fosfato c) Bórax.



O bórax usa-se principalmente como retardante de tempo de pega, permitindo um controle das reações que se desenvolve na mistura, o que ao mesmo tempo implica uma redução do calor de hidratação (FERNANDEZ, 2013). Este efeito não é exclusivo do uso de bórax, já que a redução da temperatura durante o processo de hidratação também pode ser alcançado, reduzindo o consumo de óxido de magnésio (QIAO et al, 2009). Esta segunda opção resulta ser mais econômica, já que o bórax em quantidades importantes resulta no incremento do custo do material. O problema na redução deste componente é que exista uma relação entre os componentes do cimento de 1,75 vezes o peso do óxido de magnésio e 6% do bórax em relação ao peso do cimento. Na Figura 3.8 podem-se observar os resultados obtidos por Qiao et al (2009), relacionando resistência a compressão com a porcentagem de bórax adicionado. Também pode ser observada a evolução do tempo de pega com relação à porcentagem de bórax.

Figura 3.8. Efeito do bórax na resistência e tempo de pega do CFM.

Fonte: Qiao, Chau e Li (2009).

Tal como se indica na figura anterior, conseguiu-se retardar o tempo de pega, mas em contrapartida a resistência em curtas idades foi reduzida. Devido a este comportamento, tal estudo conclui em que a porcentagem de bórax adicionado na mistura, não deve ser superior a 6,5% da soma da massa do óxido de magnésio e a fonte de fosfato. Na Tabela 3.1, mostram-se algumas características de cada componente que forma o cimento fosfato de magnésio. Esses dados foram obtidos através da ficha técnica de cada reagente.

Tabela 3.1. Características dos componentes do CFM.

Propriedades	Oxido de magnésio (MgO)	Fosfato monoamônico (NH ₄ H ₂ PO ₄)	Bórax (Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O)
Massa específica	3,57 gr/cm ³	1,80 gr/cm ³	1,74 gr/cm ³
Solubilidade em água	0,085 gr/L em água (20°C)	270 gr/L em água (20°C)	50 gr/L em água (20°C)
Massa molar	40,3 gr/mol	115,20 gr/mol	381,4 gr/mol
pH	11,72	4,66	10,08

3.6 Dificuldades de sua produção a escala industrial

Apesar dos avanços e da natureza inovadora dos materiais, ainda existem alguns inconvenientes com sua produção, considerando a baixa disponibilidade de trabalhos anteriores sobre este tema. Estudos sobre o uso de diferentes Cimentos de fosfato de Magnésio (CFM) ou a sua produção a partir de subprodutos industriais devem ser realizados para reduzir os custos, já que o preço dos reagentes é elevado (O fosfato monoamônico é mais caro que óxido de magnésio), dificultando sua produção à escala industrial (MANSO, 2014).

Em termos de aplicação industrial desses materiais, tem como objetivo permitir o crescimento biológico, não devendo ser considerada para elementos estruturais. O uso de elementos a base de CFM se dá majoritariamente como material de reparo devido a seu rápido tempo de pega e alta resistência (MANSO, 2014).

O custo do bioconcreto, de acordo com Jonkers (2012) é atualmente duas vezes maior do que o concreto convencional, já que uns dos reagentes, o lactato de cálcio é o elemento mais caro desse sistema. Pesquisas estão em desenvolvimento para sua substituição, sendo estudada a possibilidade de substituição por elementos extraídos da cana de açúcar.

3.7 Influência do clima

Em relação às condições ambientais, tanto as condições climáticas quanto a qualidade do ar influenciarão a colonização. A temperatura é um dos principais fatores que afetam o crescimento dos microrganismos, estimulando seu crescimento, inibindo-o ou até mesmo matando-os (MANSO et al, 2014b). O concreto biológico foi desenvolvido inicialmente na Barcelona (Espanha), numa área com clima mediterrâneo. O clima mediterrâneo caracteriza-se por temperaturas moderadas gerais com verões quentes e secos e invernos úmidos. Além disso, os países incluídos na região mediterrânea situam-se entre 30° e 45° norte e sul do Equador. Em contraste, o clima marítimo temperado influenciado pelo Mar do Norte e pelo Oceano Atlântico (MANSO, 2014).

De acordo com os resultados alcançados na patente, uma grande variedade de microrganismos pode ser encontrada em materiais pétreos, tais como rochas naturais ou materiais cimentícios. De acordo com Manso (2014), os colonizadores pioneiros geralmente são bactérias, o qual, dependendo das características do clima (temperatura, pressão atmosférica) pode variar de organismo. Esses microrganismos têm a capacidade de colonizar todas as superfícies e permitir a colonização de outros organismos. Biofilmes formados por bactérias geralmente são invisíveis devido à ausência de pigmentos, pelo que as algas, que são caracterizadas por serem autotróficas, formam outro grupo pioneiro de organismos (MANSO, 2014).

3.7.1 Clima de Foz do Iguaçu - PR

Foz do Iguaçu está situada no extremo oeste do estado do Paraná, na divisa com Argentina e Paraguai. A cidade é centro turístico e econômico da região oeste do estado e é um dos mais importantes destinos turísticos do país.

De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) o município se encontra dentro da zona bioclimática 3, o qual possui um clima subtropical úmido mesotérmico, classificado por Köppen-Geiger como um clima temperado úmido com verão quente (Cfa). A cidade tem uma das maiores amplitudes térmica anuais do estado, valor aproximado de 11°C de diferença média entre o inverno e o verão. Isto ocorre devido a uma menor influência da maritimidade do que a observada em outros municípios (DELGADO et al, 2016).

Por essa razão, os verões costumam ser muito quentes, com máximas médias em torno dos 33°C, chegando a superar a marca dos 40°C de temperatura. Apesar de serem considerados amenos, os invernos propiciam quedas bruscas de temperaturas que podem estar abaixo de zero durante a passagem de frentes frias com as massas de ar polar. As chuvas costumam ser bem distribuídas durante o ano, com uma pequena redução no inverno. A precipitação anual varia em torno dos 1800 mm (DELGADO et al, 2016). No Quadro 4 resume-se a descrição do clima da cidade.

Quadro 4. Descrição do clima da cidade de Foz do Iguaçu.

Grupo climático	Regiões fundamentais	Classes climáticas
C – Clima temperado quente	F – Clima úmido	A – Apresenta verão quente
A temperatura média do ar do mês mais frio deverá estar compreendida entre -3°C e 18°C	Ocorrência de precipitações em todos os meses do ano	A temperatura média do ar no mês mais quente deverá ser superior a 22°C
Temperatura média do ar do mês mais quente maior que 10°C	Inexistência de estação seca definida	
Estações de verão e inverno bem definidas	A precipitação média do mês mais seco deverá ser superior a 60 mm	

Fonte: Adaptado de Madureira e Sacht (2015).

4. METODOLOGIA

4.1 Introdução

A metodologia utilizada para elaborar este trabalho envolveu três etapas: a caracterização dos agregados a ser utilizada para a produção do concreto, a caracterização do cimento fosfato de magnésio e desenvolvimento do concreto biológico. Para que isso fosse possível, foram realizadas as seguintes medidas: granulometria, determinação consistência normal da pasta e tempo de pega, resistência à compressão e absorção de água para o estado endurecido.

4.2 Caracterização dos materiais

Para a fabricação dos concretos foram utilizados dois tipos de cimento, areia comum e água destilada, além do bórax. A seguir se especificam os materiais utilizados:

- Cimento Portland tipo CP-II-Z de acordo com a NBR 11578 (ABNT,1991) composto com adição entre 6% e 14% de material pozolânico, em relação a massa total de aglomerante, cuja resistência aos 28 dias é de 32 MPa.
- Cimento Fosfato de magnésio o qual não possui norma regulamentadora e cuja composição é uma fonte de fosfato e oxido de magnésio, também é adicionado o bórax como retardador de pega.
- Agregado, constituído por areia media lavada extraída da região de Guairá, noroeste do estado do Paraná. Sua composição granulométrica foi determinada de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003).
- Água destilada, cujo processo foi realizado no laboratório de química da UNILA.

Para caracterização do agregado miúdo foi realizado os ensaios de granulometria, massa específica e unitária, conforme as normas brasileiras NBR NM 248 (ABNT, 2003), NBR NM 52 (ABNT, 2009) e NBR NM 45 (ABNT, 2006).

4.2.1 Granulometria

O resultado do ensaio de granulometria dos agregados, realizado segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Para este trabalho foi utilizado duas granulométrias, ambas de origem natural e grãos arredondados. O tamanho de granulometria de 0-2 mm, o qual foi normalizado pela NBR 7211 (ABNT, 2009) e de 2-4 mm, neste caso, não foi normalizada mais apresentava homogeneidade. Na Figura 4.1 apresenta as granulometria empregadas neste trabalho.

Figura 4.1. Granulometria da areia. 0-2 mm (esquerda) e 2-4 mm (direita).



4.2.2 Massa específica

Para a determinação da massa específica do agregado miúdo seguiu-se a NBR NM 52: Agregado Miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente (ABNT, 2009).

4.2.3 Massa unitária

A determinação da massa unitária foi através da norma NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e volume de vazios (ABNT, 2006) e a obtenção da absorção de água da areia se deu seguindo o descrito na NBR NM 30 (ABNT, 2000).

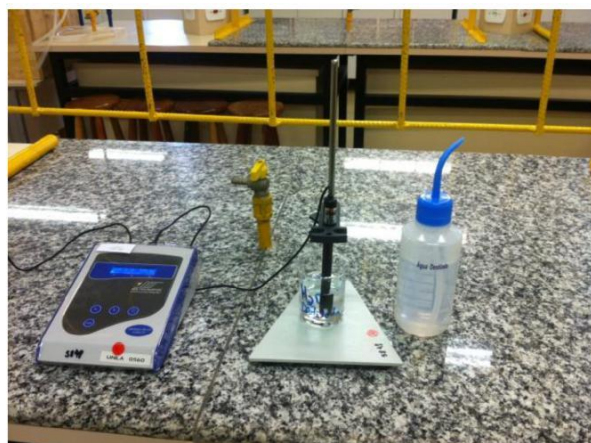
4.2.4 Água de amassado

Finalmente, de modo a evitar a influência dos componentes mineralógicos da água da torneira nas reações do processo de pega, foi empregada água destilada na produção das argamassas realizadas com cimento Portland convencional como as elaboradas com o cimento fosfato de magnésio. Na Figura 4.2 e 4.3 é ilustrado o equipamento utilizado no processo de destilação da água.

Figura 4.2. Equipamento de destilação da água.



Figura 4.3. Equipamento de pHmetro.



Como é indicado na Figura 4.4 também foi determinado o pH da água destilada e comparada com a água da torneira, de modo a ter conhecimento da concentração hidrogeniônica do líquido. Na Tabela 4.1 mostra o resultado das medidas.

Tabela 4.1. Comparação do pH das águas.

Material	Média
Água da torneira	7,42
Água destilada	7,76

4.3 Desenvolvimento da dosagem de Cimento fosfato de magnésio

Nesta etapa foi feita a caracterização do Cimento Fosfato de Magnésio e comparada com o Cimento Portland CP II Z da marca Votorantim.

4.3.1 Massa específica real

Para determinação da massa específica do Cimento Fosfato de Magnésio (CFM) foi utilizado a NBR NM 23 (ABNT, 2001): Cimento Portland convencional (CPC) e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Também foi ensaiado o Cimento Portland CP II-Z de modo a comparar os valores. Na Figura 4.4 é ilustrado o equipamento utilizado.

Figura 4.4 Amostras de CFM e CPC.



4.3.2 Consistência normal da pasta

Para a determinação da consistência normal da pasta do Cimento Fosfato de Magnésio, foi aplicado a NBR NM 43 (ABNT, 2003). Para este ensaio foi utilizado o aparelho de agulha de Vicat com a sonda de Tetmajer. Na Figura 4.5 e Figura 4.6 é ilustrado o equipamento utilizado. Para a elaboração da pasta de cimento de fosfato de magnésio, foi adicionado o 6% de bórax, devido ao rápido tempo de pega do material.

Figura 4.5. Ensaio da amostra de CFM.**Figura 4.6.** Ensaio da amostra de CP II-Z.

4.3.3 Determinação do tempo de pega

Para a determinação do tempo de pega do cimento fosfato de magnésio, foi aplicado a NBR NM 65 (ABNT, 2003). Para este ensaio foi empregada a pasta determinada no ensaio de consistência normal e o aparelho de agulha de Vicat. Na Figura 4.7 é ilustrado o equipamento utilizado.

Figura 4.7. Ensaio da amostra de CFM.

4.3.4 pH do Cimento

Para a determinação do pH do cimento fosfato de magnésio foi empregado a mesma metodologia para determinar o pH da água. Neste caso foram consideradas duas amostras, contemplando os componentes do CFM e outra com adição de 6% de bórax em função da massa das amostras.

4.4 Desenvolvimento do concreto biológico

Após de obter os resultados de caracterização do agregado e do cimento fosfato de magnésio, procedeu-se à elaboração dos corpos de prova. Se realizaram 3 dosagens com o cimento fosfato de magnésio, mais um traço de controle com cimento Portland. Os três traços foram desenvolvidos por MANSO (2014), variando o esqueleto granular, a relação a/c

e a porcentagem de pasta, parâmetros que influenciam diretamente na porosidade do material. Na Tabela 4.2 são indicados os traços estudados neste trabalho.

Tabela 4.2. Traços estudados.

	Especificação	Traço (C:A:a/c)
Dosagem 1	MA15-0,5C	1:6,6:0,15
Dosagem 2	Ma20-0,75C	1:4,81:0,2
Dosagem 3	Ma28-1C	1:4,03:0,28
Dosagem 4		1:3:0,5

Da Tabela acima indicada, as denominações dos traços correspondem a: C: Cimento elaborado a partir da mistura do Fosfato monoamônico e Oxido de magnésio, considerando uma relação de 1:1,75, mais o Bórax cujo efeito é de retardador do tempo de pega e sua massa corresponde a 6% da massa do cimento. Também se especifica: que as letras “A” e “a” indicam a granulometria dos agregados utilizados, correspondendo a 2-4 mm e 0-2 mm respectivamente. Logo, os números de dois dígitos referem-se à relação água/cimento. Correspondendo o valor de 15 para uma a/c de 0,15. Finalmente, a designação C, refere-se ao valor do conteúdo de pasta de cimento. Por exemplo, a nomenclatura 0,5C corresponde a 50% do conteúdo de pasta de referência. A dosagem 4 corresponde ao cimento Portland composto CII-Z.

4.4.1 Corpos de prova elaborados com CFM

Em vista a experiências prévias por Fernandez (2013) e Manso (2014), em consequência da reação química do cimento fosfato de magnésio em presença de água, gera uma alta aderência com elementos metálicos, sendo necessário de proteger os moldes. Para tal fim, pode ser utilizado desmoldantes do tipo silicone ou a base de óleo, filme transparente entre outros. Outra alternativa poderia ser a fabricação de moldes não convencionais do tipo silicone. Na Figura 4.8 é apresentada uma alternativa para a elaboração de amostras. Para este trabalho, foi utilizado um filme de PVC e colocado na base como na parte interna dos moldes conforme Figura 4.9.

Figura 4.8. Moldes não convencionais.



Figura 4.9. Moldes convencionais protegidos.



Fonte: Fernandez (2013).

O processo de mistura e amassado dos corpos de prova fica citado na Tabela 4.3, onde o processo foi modificado pelas razões acima mencionados. As iniciais que se especificam correspondem aos materiais utilizados. A: areia; M: óxido de magnésio; F: fosfato monoamônico; B: bórax.

Tabela 4.3. Processo de elaboração dos corpos de prova.

Materiais	Tempos (seg.)	Tempo neto	Velocidade
A+M+F+B	0– 30	30 seg.	Baixa
+ H ₂ O	30 – 90	60 seg.	Baixa
-	90– 120	30 seg.	-
-	120 – 180	60 seg.	Alta

Fonte: Adaptado de Fernandez (2013).

Para realização do ensaio de resistência a compressão seguiu-se as indicações da NBR 5739 (ABNT, 2007), com corpos de prova de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, conforme mostrado na Figura 4.10 e Figura 4.11. Devido à limitada capacidade da cuba da máquina misturadora e da característica do cimento fosfato de magnésio, foram elaboradas seis corpos de prova por cada rodada.

Figura 4.10. Misturador de argamassa.



Figura 4.11. Corpos de prova elaborados.



A diferença dos corpos de prova de cimento Portland, os de cimento fosfato de magnésio chega ao tempo de pega em uma hora e devido à caracterização do calor de hidratação, não foi necessário de introduzi-los na câmara úmida. Após ter sido elaborado, foram desmoldados e enumerados. Na Figura 4.12 e Figura 4.13 são apresentados os corpos de prova após desmoldagem.

Figura 4.12. Corpos de prova.

Figura 4.13. Corpos de prova após desmoldagem.


Cabe destacar, que durante a elaboração das argamassas, observou-se que o conteúdo de pasta para cada dosagem não era o suficiente, desprendendo os agregados com facilidade. De forma a reduzir ou evitar a desintegração dos agregados, o conteúdo de pasta foi aumentado em 25% para as amostras com agregado de 2-4 mm e 20% para agregados de 0-2 mm. Devido ao incremento da pasta, também foi majorado o consumo de água. A seguir na Tabela 4.4 são expostas as modificações feitas nos traços.

Tabela 4.4. Modificações dos traços estudados.

	% pasta		a/c	
	Inicial	Final	Inicial	Final
Dosagem 1	50%	75%	0,15	0,21
Dosagem 2	75%	95%	0,2	0,27
Dosagem 3	100%	120%	0,28	0,34

4.5 Caracterização da porosidade

4.5.1 Absorção de água por capilaridade

Para a caracterização da absorção por capilaridade, foi realizada seguindo a norma NBR 9779 (ABNT, 2009). Nas Figuras 4.14 e Figura 4.15 são expostos os corpos de prova e o processo do ensaio.

Figura 4.14. Corpos de prova testados.

Figura 4.15. Execução do ensaio.


4.5.2 Volume de vazios

Para a determinação da porosidade e do volume de vazios de cada dosagem, empregou-se a normativa americana ASTM C642-06. Para este trabalho, tal normativa foi modificada, devido a que não se tem estudos sobre a exposição das amostras de cimento fosfato de magnésio em águas com temperaturas acima dos 60°C. Para tal efeito parte do ensaio foi realizado em uma balança hidrostática e determinado seu peso hidrostático. Posteriormente foi aplicado a Equação 1 proposta por Porta (2011).

$$\% = \frac{P_{\text{sat}} - P_{\text{h}}}{P_{\text{s}} - P_{\text{h}}} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

P_{sat} : Peso saturado superfície seca;

P_{s} : Peso seco;

P_{h} : Peso hidrostático.

Na Figura 4.16 e Figura 4.17 é exibido a o equipamento utilizado.

Figura 4.16. Balança hidrostática. **Figura 4.17.** Pesagem das amostras.



Um dos principais problemas que surgiram no momento de obter o peso saturado superfície seca, foi ao tentar obter este valor nas amostras da dosagem 1, já que apresentavam problemas de retenção de água. Este fato se dava devido a sua granulometria e menor conteúdo de pasta. Na Figura 4.18 é exibido o problema.

Figura 4.18. Manifestação da perda de água.

Em virtude de não ter um valor confiável do peso saturado superfície seca, foi empregada outra metodologia, a partir da aplicação do Princípio de Arquimedes.

4.5.3 Princípio de Arquimedes

“Um corpo submerso total ou parcialmente em um fluido em repouso, recebe um empuxo de baixo para cima igual ao peso do volume do fluido despejado”.

Partindo desse argumento e das equações calculou-se o valor do volume de espaços de cada amostra com os valores do peso seco e hidrostático, obtidos anteriormente seguindo a norma ASTM C642-06. A seguir a Equação 2 foi proposta por Manso (2014) e representa o cálculo do volume da amostra (V_A).

$$= \frac{P_{sA} - P_h}{\rho_f \cdot g} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

P_{sA} : Peso seco da amostra;

P_h : Peso hidrostático;

ρ_f : Massa específica do fluido (água aprox. 10000 kg/m³);

g : aceleração da gravidade (10 m/s²).

Uma vez calculado o valor do volume da amostra, é subtraído do volume geométrico (V_G) para a determinação do volume de buracos como segue na Equação 3.

$$= V_G - V_A \quad (\text{Equação 3})$$

Finalmente na Tabela 15 são expostos os resultados do ensaio aplicando a norma ASTM C642-06 e o Princípio de Arquimedes.

4.6 Análise de bioreceptividade em ambiente natural

Em um ambiente de laboratório, podem ser controlados alguns parâmetros como temperatura, umidade relativa, período de exposição à luz, período de chuva, etc. tendo como única variável a bioreceptividade do material. No entanto, essa situação difere

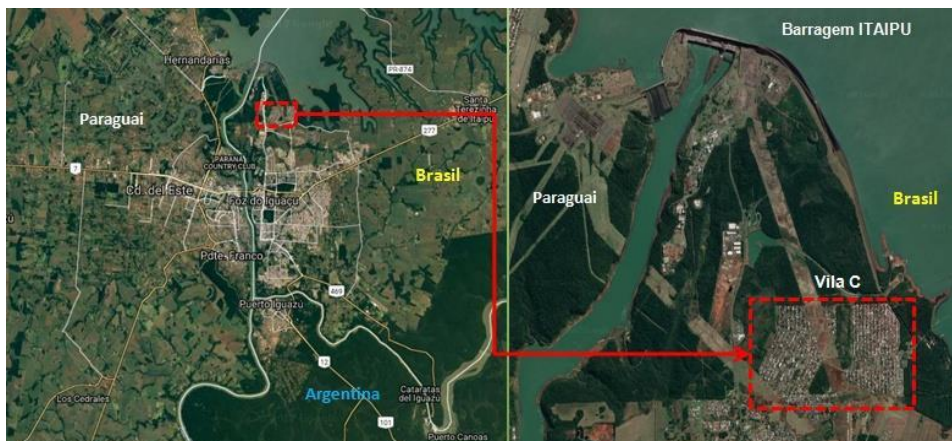
substancialmente do que acontece em condições ambientais naturais. Nesse caso, não só as amostras diferem de um para o outro, mas também as condições ambientais, bem como aspectos relacionados aos organismos vivos (MANSO, 2014).

Parte este trabalho, foi executado em um ambiente natural urbano, baseado na combinação de condições climáticas variáveis, bem como a presença e diversidade de microorganismos. No que se refere às condições climáticas, como temperatura, precipitação, duração do sol ou a direção do vento influenciará na colonização. Além disso, os parâmetros acima mencionados variam, dependendo da localização, bem como de acordo com a estação do ano. Finalmente, os microorganismos presentes no ambiente divergem, dependendo da situação geográfica e diferentes relacionamentos podem ser encontrados entre eles.

4.6.1 Localização

Em relação às condições ambientais, tanto as condições climáticas como a qualidade do ar influenciarão na colonização. Portanto, as amostras foram instaladas na região da barragem da ITAIPU, no bairro Vila C, zona norte da cidade de Foz do Iguaçu, que correspondente a uma área urbana com um clima subtropical úmido. Na Figura 4.19 é mostrada a localização da área de estudo.

Figura 4.19. Localização da área de exposição das amostras.



Inicialmente foram elaboradas cinco amostras por cada dosagem, mais uma dosagem de controle preparada de cimento portland convencional. Ambos os espécimes foram moldados em anéis de tubos de PVC de 100 mm de diâmetro externo e 20 mm de altura. Para amostras de CFM foram desmoldados há 2 horas, já no caso das amostras de CPC após 24 horas. Na Figura 4.20 são mostradas as amostras de CFM.

Figura 4.20. Amostras de CFM.


4.6.2 Coleta e análise de amostras

O programa experimental teve uma duração de oito semanas e aponta fornecer informações comparativas entre as dosagens estudadas durante a fase de exposição à colonização natural, através de fotografias tomadas a cada amostra de cada dosagem durante esse período.

4.6 Resumo dos ensaios

Finalmente, nesse tópico é apresentado uma tabela resumo de todos os ensaios realizados para caracterizar tanto os materiais quanto os concretos, de forma que seja possível entender as propriedades do cimento fosfato de magnésio como o comportamento do concreto biológico, conforme é mostrado na Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Ensaios realizados.

Materiais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Areia	X	X	X								
Água destilada				X							
Cimento				X	X	X	X				
Concreto				X				X	X	X	X

Onde:

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1: Granulometria; | 7: Tempo de pega; |
| 2: Massa específica; | 8: Resistência à compressão; |
| 3: Massa Unitária; | 9: Absorção de água por capilaridade; |
| 4: pH; | 10: Volume de vazios; |
| 5: Massa específica real; | 11: Avaliação da bioreceptividade do mat. |
| 6: Consistência normal da pasta; | |

Tendo a metodologia estabelecida, e os ensaios realizados, no capítulo seguinte são apresentados os resultados obtidos e a discussão sobre tais resultados.

5. RESULTADOS

5.1 Caracterização dos materiais

5.1.1 Caracterização da areia

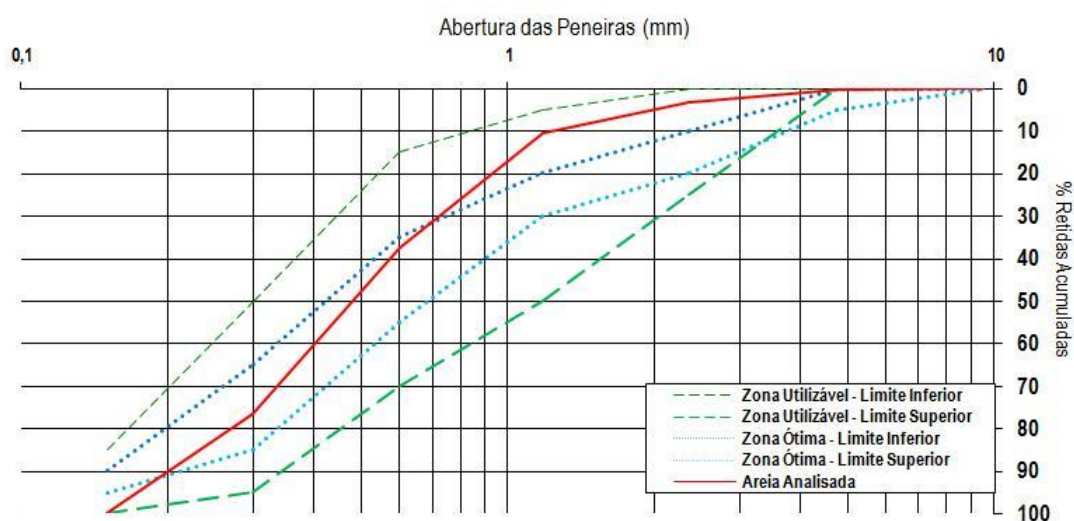
O resultado do ensaio de granulometria dos agregados, realizado segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003) é apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Granulometria do agregado miúdo.

PENEIRA	Amostra 1	Amostra 2	MEDIA
# [mm]	% Retida Acumulada		
4 4,75	0,18	0,35	0,27
8 2,36	2,40	3,83	3,12
16 1,18	8,71	12,00	10,36
30 0,60	35,23	39,46	37,35
50 0,30	68,90	84,48	76,69
100 0,15	93,94	98,14	96,04
200 0,075	99,27	99,78	99,52
FUNDO	100,00	100,00	100,00

A partir dos dados obtidos do ensaio de granulometria, foi possível determinar o diâmetro máximo e o módulo de finura do agregado. Também foi traçado a curva granulométrica, conforme Figura 5.1. Na figura abaixo é possível visualizar ainda os limites determinados pela norma NBR 7211 (ABNT, 2009), sendo considerado como dentro da zona utilizável. Já o diâmetro máximo do agregado é de 2,36 mm e o módulo de finura de 2,24.

Figura 5.1. Granulometria da areia.



5.1.2 Massa específica

Apresentam-se os resultados do ensaio na Tabela 5.2.

Tabela 5.2. Massa específica do agregado miúdo.

Ensaio	
Massa específica aparente do agregado seco	2,47 gr/cm ³
Massa específica do agregado saturado superfície seca	3,31 gr/cm ³
Massa específica – Frasco de Chapman	2,64 gr/cm ³

5.1.3 Massa unitária

Apresentam-se os resultados do ensaio na Tabela 5.3.

Tabela 5.3. Massa unitária e absorção do agregado miúdo.

Ensaio	
Massa unitária em estado solto	1,68 gr/cm ³
Massa unitária em estado compactado	1,76 gr/cm ³
Absorção de água	6,06%

5.2 Caracterização do Cimento fosfato de magnésio

5.2.1 Massa específica real

Na Tabela 5.4 pode ser observado o valor da massa específica.

Tabela 5.4. Comparação da Massa específica real.

Material	Média
Cimento Fosfato de Magnésio	2,66 gr/cm ³
Cimento Portland CP II - Z 32	3,01 gr/cm ³

Da tabela anterior, pode ser observado que a massa específica do cimento fosfato de magnésio é menor que a do cimento Portland convencional. Isso devido ao tamanho dos grãos como também da massa específica do fosfato monoamônico e do óxido de magnésio.

5.2.2 Consistência normal da pasta

Na Tabela 5.5 são indicados os resultados alcançados neste ensaio.

Tabela 5.5. Determinação da consistência normal da pasta.

Material	Tentativas	Porcentagem de água (A)
Cimento Fosfato de Magnésio	6	33%
Cimento Portland CP II-Z 32	3	35%

Na tabela anterior é possível observar que a quantidade de água para o cimento fosfato de magnésio é levemente menor que o cimento Portland convencional, isso pode ser

devido à reação do bórax em presença de água, melhorando sua plasticidade e reduzindo o consumo de água.

5.2.3 Determinação do tempo de pega

Na tabela 5.6 é indicado o resultado do ensaio de tempo de pega tanto para o CFM como para o CPC.

Tabela 5.6. Resultado do ensaio de tempo de pega.

Material	Início de pega	Fim de pega
Cimento Fosfato de Magnésio	7 min (± 30 seg)	16 min (± 30 seg)
Cimento Portland CP II-Z 32	254 min (± 30 seg)	307 min (± 30 seg)

Como indicando na tabela anterior, o tempo de pega do CFM e o CPC diferem totalmente. No caso do CFM, o tempo final de pega é inferior a 30 minutos, também foram observadas as diferenças entre os tempos, o qual foi inferior a 10 minutos. Isso pode estar relacionado com as propriedades do óxido de magnésio, quantidade de bórax adicionado na pasta, etc.

5.2.4 pH do Cimento

Na Tabela 5.7 são apresentados os valores obtidos.

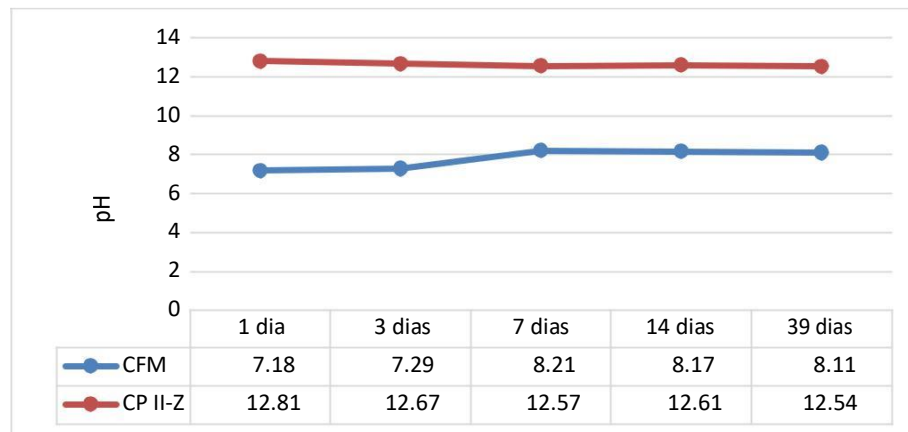
Tabela 5.7. Determinação do pH do cimento.

Material	pH
CFM (sem bórax)	8,32
CFM (com adição de bórax)	7,81
Cimento CII- Z	12,48

Como observado na tabela anterior, com a adição dos 6% de bórax na mistura desce aproximadamente 0,5 pontos. Isso pode ser devido à reação química liberada pela mistura do fosfato monoamônico e o bórax em presença de água. Este fato causa a liberação do pH da mistura, resultando na formação do gel cristalino.

5.2. Evolução do pH do Microconcreto

As amostras foram avaliadas a 1, 3, 7, 14 e 39 dias de idade, também foram ensaiadas amostras feitas com cimento portland convencional, de modo a comparar os resultados. Na Figura 5.2 é exposto o resultado deste ensaio.

Figura 5.2. Evolução do pH do microconcreto.


Da figura anterior, pode ser observado que o pH do Cimento portland CP II-Z fica entorno de 12 a 13 sendo classificada como alcalina, enquanto o Cimento fosfato de magnésio fica entorno de 7,1 e 8,2, sendo considerada como neutra levemente alcalina. Após o período de 39 dias, não houve alteração dos resultados.

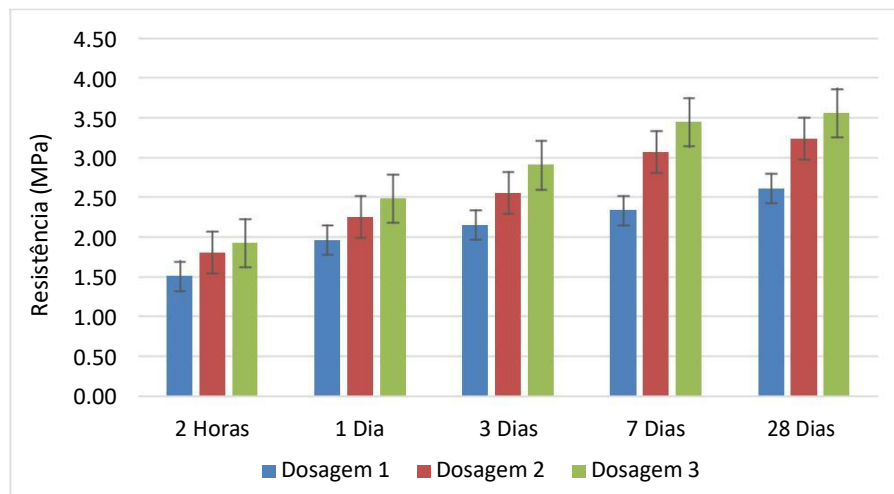
5.3 Resistência à compressão no estado endurecido

Para as argamassas produzidas, o ensaio de resistência à compressão foi realizado em quatro idades 1, 3, 7 e 28 dias, o procedimento do ensaio foi com base na NBR 5739 (ABNT, 2007). Devido ao rápido tempo de pega do CFM, foi avaliado há 2 horas, conforme e apresentado na Tabela 5.8 Junto à resistência média é apresentado o desvio padrão de cada dosagem.

Tabela 5.8. Resistência média e desvio padrão das amostras.

Idade Desvio padrão	Dosagem 1	Dosagem 2	Dosagem 3	Dosagem 4
2 Horas (MPa) <i>Sd</i>	1,51 0,02	1,80 0,03	1,92 0,02	-
1 Dia (MPa) <i>Sd</i>	1,96 0,04	2,25 0,07	2,48 0,06	-
3 Dia (MPa) <i>Sd</i>	2,15 0,03	2,55 0,07	2,90 0,11	-
7 Dias (MPa) <i>Sd</i>	2,33 0,02	3,07 0,06	3,44 0,22	28,82 1,58
28 Dias (MPa) <i>Sd</i>	2,61 0,02	3,23 0,16	3,56 0,06	38,33 1,62

A partir dos resultados proporcionados na tabela anterior é possível traçar os gráficos apresentados na Figura 5.3, referente aos concretos produzidos com cimento fosfato de magnésio. Com esses dados é possível desenhar o gráfico através, para que seja mais bem observado como ocorre à variação da resistência.

Figura 5.3. Resistência a compressão do microconcreto biológico.

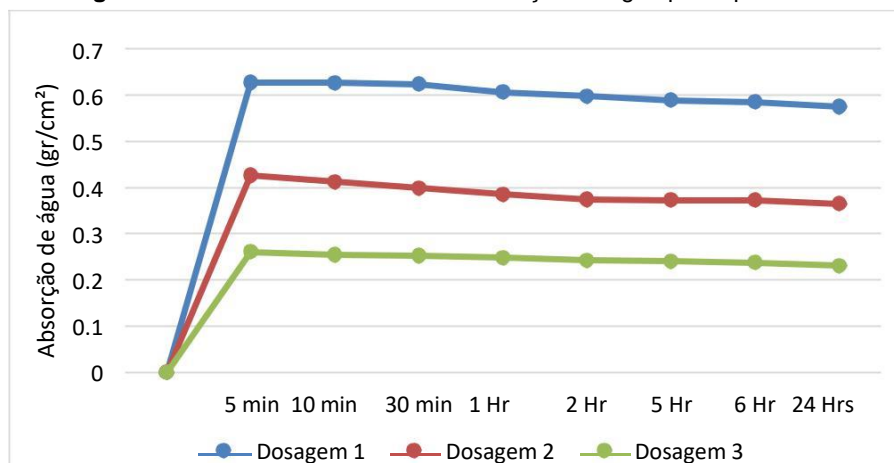
No gráfico anterior é possível observar um leve ganho de resistência ao longo do tempo, conforme se aumenta a quantidade de pasta. Porém, ainda é baixo em comparação com as amostras de cimento portland CP II-Z, que em média possui 38,3 MPa aos 28 dias.

5.4 Caracterização da porosidade

Para determinação da porosidade, foram considerados os ensaios de absorção de água por capilaridade e volume de vazios através de duas metodologias, da norma americana ASTM C642-06 e o Princípio de Arquimedes.

5.4.1 Absorção de água por capilaridade

Em este tópico, são expostos os resultados obtidos do ensaio de absorção de água. Tal procedimento foi baseado na NBR 9779 (ABNT, 2012). A continuação se expõe a Figura 5.4 sobre o resultado do ensaio. Tal experimento foi executado em um lapso de tempo de 24 horas.

Figura 5.4. Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade.

Da figura anterior pode-se observar que conforme se aumenta o conteúdo de pasta, diminui a absorção inicial de água (A dosagem 3 tem mais conteúdo de pasta que a primeira e a segunda), mas com o passar do tempo essa absorção vai diminuindo. Cabe destacar que durante a execução do ensaio, notou-se que enquanto passava o tempo, as amostras ganhavam temperatura, tendo uma leve queda nos gráficos. Isso pode ser devido à baixa relação a/c das dosagens, como também das características do cimento fosfato de magnésio.

5.4.2 Volume de vazios

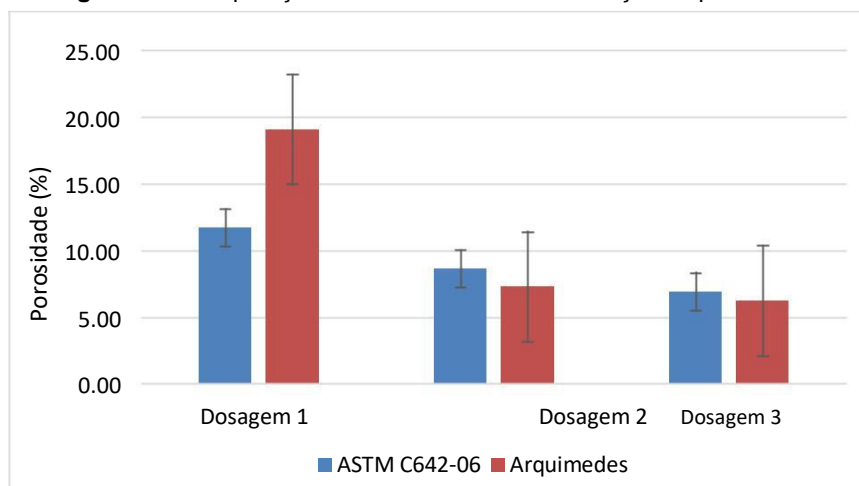
Finalmente na Tabela 5.9 são expostos os resultados do ensaio aplicando a norma ASTM C642-06 e o Princípio de Arquimedes.

Tabela 5.9. Determinação da porosidade.

Método	Dosagem 1	Dosagem 2	Dosagem 3
ASTM C 642-06	11,74%	8,67%	6,94%
Princípio de Arquimedes	19,09%	7,31%	6,24%

Posteriormente, se compara os resultados obtidos dos dois métodos na Figura 5.4.

Figura 5.4. Comparação dos resultados – Determinação da porosidade.



Como comentado anteriormente, a determinação da porosidade foi com base na normativa americana ASTM C642-06. Ao aplicá-la se apreciaram algumas incertezas nos resultados obtidos que foram visualizados durante a execução do ensaio, devido à perda de água nas amostras com granulometria de 2-4 mm. Por esse motivo, procedeu-se a caracterizar o volume de vazios das dosagens empregando o princípio de Arquimedes. Como não se conta com uma norma ou procedimento padronizado para este tipo de concreto, deve-se assumir um pequeno erro em quanto ao resultado final, já que também não foi considerada a rugosidade superficial das amostras.

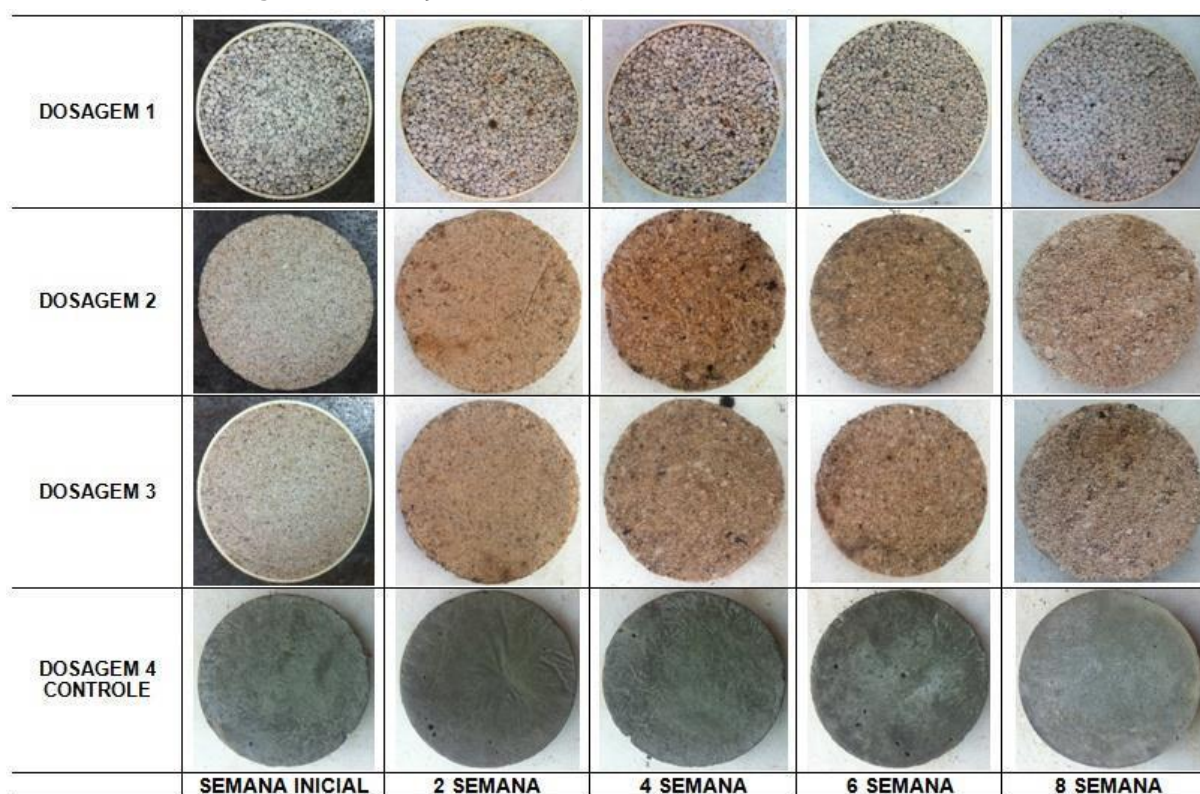
Como poder ser observado na figura anterior, pode-se confirmar a existência de erros nos resultados da dosagem 1, entorno de 7,4% aplicando ambos métodos. Já nas dosagens com menor granulometria, teve-se uma margem de erro ao redor de 0,7% e 1,4%.

5.5 Análise da bioreceptividade em ambiente natural

5.5.1 Resultados e análises

Nesta seção são exibidos os resultados obtidos durante a fase de exposição. Como mencionado anteriormente, foram tiradas fotografias semanalmente, de modo a visualizar a evolução das amostras e possível proliferação de microrganismos pigmentosos. Na Figura 5.7 são expostas algumas fotografias tomadas nas amostras de CFM e de CPC.

Figura 5.7. Evolução da bioreceptividade – Amostras de CFM e CPC.



De acordo com a figura anterior, é possível perceber, que no caso das amostras com agregado de 2-4 mm não houve crescimento de microrganismos pigmentosos na sua superfície. Já no caso das amostras com agregado de 0-2 mm, também que não houve crescimento de microalgas, mas sim de fungos. Finalmente, pode-se dizer que não houve crescimento de microalgas visíveis, provavelmente devido às diferentes condições de umidade e temperatura da cidade. Já no caso das amostras de cimento portland durante todo o período de exposição, não houve nenhum cambio ou visto de crescimento de microrganismos na sua superfície. Por fim como não houve nenhuma amostra com crescimento de microrganismos autótrofos, não houve necessidade de executar o ensaio de

Clorofila a, devido a que não pode ser quantificada a proliferação de fungos ou de bactérias. Cabe sinalar também que o tempo de exposição foi curto para esperar um crescimento de microalgas, sendo necessário de um período mais prolongado.

6. CONCLUSÕES

Com base nas observações durante a execução e os resultados obtidos neste trabalho, mostrou-se possível o desenvolvimento de concretos com alta bioreceptividade num ambiente subtropical. Mesmo em um curto período de exposição (oito semanas), todas as amostras do cimento fosfato de magnésio apresentaram proliferação de microrganismos visivelmente. Também se pode observar que sobre a caracterização do cimento fosfato de magnésio, mostrou resultados próximos aqueles obtidos por Fernandez (2011) e Manso (2014).

A seguir são dadas algumas conclusões específicas sobre a caracterização do concreto e de sua exposição ao ambiente natural:

1. Sobre o desenvolvimento do cimento fosfato de magnésio, pode-se comentar que a relação adotada de 1:1,75, forneceu um pH entorno de 8, sendo considerado de alcalina. A caracterização da formulação estudada proporcionou propriedades físico-químicas aceitáveis, já nos resultados de resistência à compressão, atribuiu valores baixos em comparação ao cimento portland convencional. Sobre a trabalhabilidade do concreto, percebeu-se seca, mas com a adição dos 6% do bórax, notou-se uma melhoria durante sua execução. Por tanto, os resultados obtidos sugerem que as misturas estudadas não devem ser empregadas para elementos estruturais.
2. Sobre o tempo de pega do CFM, notou-se muito reduzida em comparação ao cimento Portland, isso pode ser devido às características dos reagentes como também da porcentagem de bórax empregado. Sugere-se estudar a influência do bórax no CFM e determinar a dosagem ótima, de modo a estender o tempo de manipulação da pasta sem afetar suas propriedades.
3. Sobre a elaboração dos corpos de prova de CFM, notou-se que à medida que aumenta o conteúdo de pasta de cimento, maior calor de hidratação durante a pega e, portanto, menor a porosidade. Isso pode ser devido a que existe mais material a ser hidratado. Também com o aumento da pasta, se reduz a velocidade de absorção.
4. Sobre a caracterização da absorção de água, foi constatado que em comparação a concretos elaborados com CPC, o CFM demonstrava uma pequena caída nas curvas, isso pode ser devido à baixa relação a/c, a qual foi definida em base às relações estequiométricas dos componentes do CFM e do esqueleto granular das dosagens. Destaca-se que o óxido de magnésio gera uma reação exotérmica em presença de água, podendo ser um das razões desse comportamento.

5. Sobre a determinação do volume de vazios, foi percebido que a normativa ASTM C642-6 não apresentava bons resultados para as amostras de maior porosidade, devido ao problema de retenção de água. Já no caso da aplicação do princípio de Arquimedes, isso não acontece, devido a que só emprega o peso seco e o submerso. Comparando ambos os métodos, pode-se dizer que o segundo é capaz de obter resultados com maior precisão no cálculo da porosidade para as amostras de agregado grosso. Já nos resultados das amostras com agregado de 0-2 mm, tanto a ASTM e o princípio de Arquimedes apresentam pequenas diferenças.
6. Sobre os resultados das amostras expostas a ambiente natural mostrou-se colonizada por microrganismos do tipo fungo. Como não se teve proliferação de algum tipo de microalga, para futuros trabalhos poderia ser considerada a algum tratamento externo para acelerar o processo de colonização.

Para futuros trabalhos, sugere-se:

- O análise da microestrutura com a utilização da microscopia eletrônica de varredura (MEV) durante o processo de hidratação do concreto. Também se recomenda a realização do estudo por espectroscopia de raios-X por dispersão de energia (EDS), utilizando as imagens obtidas através do MEV, para que cada partícula observada seja identificada se acordo com o elemento químico encontrado no ponto específico analisado.
- Estudos relativos à utilização de diferentes dosagens de Cimentos de fosfato de magnésio ou a sua produção a partir de subprodutos ou resíduos industriais, de modo a reduzir os custos e o impacto ambiental.
- Estudos para melhorar as propriedades de absorção e retenção de água dos concretos com agregados grossos. Nesse sentido, podem ser consideradas duas possibilidades: adição de argila expandida ou desenvolvimento de um revestimento, que reduz a transpiração do material evitando a perda da água armazenada.
- Analisar a bioreceptividade em ambiente controlado e natural (urbano e rural) de diferentes dosagens de concreto, variando a granulometria, conteúdo de pasta e a relação P:M do CFM por períodos mais extensos a 8 semanas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS (ABNT), **NBR NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____ **NBR NM 43**: Cimento portland - Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR NM 65**: Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR NM 248**: Agregado - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____ **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____ **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____ **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

_____ **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

_____ **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 22nd ed. Washington: American Public Health Association; 2012, 1360 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **C642-06: Standard Test Method for density, absorption, and voids in hardened concrete**. West Conshohocken, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **D4262-05: Standard Test Method for pH of chemically cleaned or etched concrete surface**. West Conshohocken, 2005.

BURAGLIA, M; ALARCÓN, D; TRIANA, M. Jardines verticales y sistemas botánicos en entornos urbanos. **MasD**, 2011. Disponível em:<<http://masd.unbosque.edu.co/sites/pdf-jardines-verticales-y-sistemas-botanicos-en-entornos-urbanos.pdf>>. Acesso em: 12 Fev.2017.

CAPUZ S; T. GÓMEZ. **Ecodiseño: Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles**. Editorial Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2004. Disponível em: <<http://idea.dpi.upv.es/ESP/pdf/libros/L003.pdf>>. Acesso em: 18Fev.2017.

DELGADO, J. S. C; SACHT, H. M; VETTORAZZI, E. Estratégias bioclimáticas para projetos urbanos em Foz do Iguaçu: Estudo de caso do marco das três fronteiras. In: Congresso Luso Brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável, 7., 2016, Maceió. **Anais...** Maceió: 2016.

ESCADEILLAS, G; BERTRON, A; RINGOT, E, P; DUBOSC, A. Accelerated testing of biological stain growth on external concrete walls. Part 2: quantification of growths. **Materials and structures**, v. 42, n. 7, p. 937, 2009. Disponível em:<[10.1617/s11527-008-9433-3](https://doi.org/10.1617/s11527-008-9433-3)>. Acesso em: 10 Mar. 2017.

FERNANDEZ, C. R. **Diseño de hormigones con porosidad controlada**. 2013. 117 p. Dissertação (Mestrado). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de caminos, canales y puertos. Universidade Politécnica de Catalunya. Barcelona. 2013. Disponível em:<<http://hdl.handle.net/2099.1/26058>>. Acesso em: 21 Jul. 2017.

GONZALEZ, J. G. **Fachadas verdes: Arquitectura alternativa y sostenible, aplicación y caso práctico en España**. 2015. 106 p. Dissertação (Mestrado). Escuela universitária de arquitectura técnica, Universidade Politécnica de Valencia. Valencia. 2015. Disponível em:<<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/77879/Memoria.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 17Fev. 2017.

GUILLITTE, O. Bioreceptivity: a new concept for building ecology studies. **Science of the total environment**, v. 167, n. 1-3, p. 215-220, 1995. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04582-L](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04582-L)>. Acesso em: 09 Mar. 2017.

GUILLITTE, O.; DREESEN, R. Laboratory chamber studies and petrographical analysis as bioreceptivity assessment tools of building materials. **Science of the total environment**, Bruxelas, v. 167, n. 1-3, p. 365-374, 1995. Disponível em: <[10.1016/0048-9697\(95\)04596-S](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04596-S)>. Acesso em: 09 Mar. 2017.

JONKERS, H. **Development and application of bacteria –based self-healing materials**. In: 40th ICT Convention/Symposium, 2012. Anais. Warwickshire, 2012. p. 1-8. Disponível em:<uuid:e41b6351-71a1-436a-9211-db5789596499>. Acesso em: 12 Mar. 2017.

JONKERS, H; SCHLANGEN, E. Development of a bacteria-based self-healing concrete. **Taylor Made Concrete Structures**, Londres, v.1, p. 425-430. 2008. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.457.8271&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 12 Mar. 2017.

KAN, L. L; SHI, H. S; SAKULICH, A. R; LI, V. C. Self-healing characterizations of engineered cementitious composite materials. **ACI Materials journal**, Shanghai, v. 107, n. 6, p. 617, 2010.Nov/Dec. 2010. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/profile/publication/266384945>>. Acesso em: 11 Abr. 2017.

KIM, J. S; SCHLANGERN. Super absorbent polymers to stimulate self-healing in ECC. In: **2nd International Symposium on Service Life Design for Infrastructures, RILEM Publications SARL, Delft**. 2010. p. 849-858. Disponível em: <<http://demo.webdefy.com/rilem-new/wp-content/uploads/2016/10/pro070-096.pdf>>. Acesso em: 17 Mar. 2017.

LONGUINI, W. R. Concretos para fins especiais e de última geração. In: _____ **Concreto: Ciência e tecnologia**, v. 2. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2011. Cap. 49, p. 1807-1842.

MADUREIRA, A. E. R.; SACHT, H. M. **Estudo de estratégias bioclimáticas para habitação em Foz do Iguaçu**. Relatório Final de Iniciação Científica. Universidade Federal da Integração Latino-americana. Foz do Iguaçu: 2015.

MANSO, S. B. **Bioreceptivity optimization of concrete substratum to stimulate biological colonization**. 2014. 145 p. Tese (Doutorado). **Departament d'Enginyeria de la Construcció. Universidat Politècnica de Catalunya**. Barcelona. 2014. Disponível em: <<https://biblio.ugent.be/publication/5697137>>. Acesso em: 16 Fev.2017.

MANSO, S; AGUADO, A. The use of bio-receptive concrete as a new typology of living wall system. **Matériaux e Technique**.v. 104, n. 5, p. 502, 2016. Disponível em:<10.1051/mattech/2016028>. Acesso em: 18 Fev. 2017.

MANSO, S; AGUADO, A. A review of sample preparation and its influence on pH determination in concrete samples. **Materiales de construcción**, v. 67, n. 325, p. 1-10. 2017. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.3989/mc.2017.08515>>. Acesso em: 18 Fev. 2017.

MANSO, S; MESTRES, G; GINEBRA, M. P; BELIE, N. D; SEGURA, I; AGUADO, A. Development of a low pH cementitious material to enlarge bioreceptivity. **Construction and building materials**, Barcelona, v.54, p.485-495, janeiro. 2014a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.001>>. Acesso em: 18 Fev. 2017.

MANSO, S; DE MUYNCK, W; SEGURA, I; AGUADO, A; STEPPE, K; BOON, N; DE BELIE, N. Bioreceptivity evaluation of cementitious materials designed to stimulate biological growth. **Science of the total environment**. Barcelona, v.481, p.232-241. Mar. 2014b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.059>>. Acesso em: 18 Fev. 2017.

MANSO, S. B; SEGURA, I. P; AGUADO, A. C. **Conjunto multicapa en base cemento, aplicable como soporte biológico para fachadas de edificios u otras construcciones**. UNIVERSIDADE POLITECNICA DE CATALUNHA – UPC, Barcelona. *ES2 443 866 A1, n° PI 2443866. 28 jun. 2012; 20 fev. 2014*. Disponível em: <<http://www.google.com/patents/WO2014001594A1?cl=es>>. Acesso em: 21 Fev. 2017.

MANSO, S B; AGUADO, A; SEGURA, I. **Influencia de la preparación de la muestra en la determinación de pH en pastas, morteros y hormigones**. In: 54 Congresso Brasileiro do Concreto, 2012. Maceio. Anais... Maceio, 2012. p. 1-10. Disponível em: <<https://www.researchgate.net>>. Acesso em: 20 Mar. 2017.

MANSO, S; CALVO, M. A. T; BELIE, N .D; SEGURA, I; AGUADO, A. Evaluation of natural colonization of cementitious materials: Effect of bioreceptivity and environmental conditions. **Science of the total environment**. v. 512, p. 444-453, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.086>>. Acesso em: 22 Fev. 2017.

MORAES, S. M. P; RIBAS, M. S. Ações de agentes biológicos no concreto. In: _____ **Concreto: Ciência e tecnologia**, v. 2. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). 2011. Cap. 30, p. 1069-1094.

NAVARRO, J. P. **Los jardines verticales en la edificación**. 2013. 77 p. Dissertação (Mestrado). Escuela técnica superior de ingeniería de edificaciones, Universidade Politècnica de Valencia, Valencia, 2013. Disponível em: <<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33814/TFM%20JUAN%20NAVARRO.pdf>>. Acesso em: 15 Fev. 2017.

NOGUERA, J. A. G. **El hormigón como soporte biológico natural y su aplicación en fachadas**. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCION SOSTENIBLE Y SOLUCIONES ECO-EFICIENTES, 1., 2013. Sevilla. Anais... Sevilla: US, 2013. p. 351-357. Disponível em: <<https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/40093>>. Acesso em: 22 Fev. 2017.

- OTTELÉ, M. **The green building envelope: vertical greening**. Tese (Doutorado). **Departamento de materiais, ambiente e sustentabilidade**. Universidade Técnica de Delft (UTDelft), Delft, 2011. Disponível em: <<http://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:1e38e393-ca5c-45afcollection=research>>. Acesso em: 19Fev. 2017.
- PINHEIRO, S. M. M; RIBAS SILVA, M. Alteration of concrete microstructure by biodeteriorations mechanisms. In: **Proceeding of conference on Microbial Impact on Building Materials**. Lisboa. 2003. p. 48-57. Disponível em:<<http://demo.webdefy.com/rilem-new/wp-content/uploads/2016/10/pro034-005.pdf>>. Acesso em: 20 Fev. 2017.
- PORTA, A. D. **Formulaciones de cemento de fosfato con subproductos de magnesio y su aplicación como material reparador**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. **Departament de Ciència dels Materials i Enginyeria Metalúrgica**. Universidade Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/2099.1/12246>>. Acesso em: 22 Ago. 2017.
- QIAO, F; CHAU, C.K; LI, Z. Property evaluation of magnesium phosphate cement mortar as patch repair material. **Construction and Building Materials**, v. 24, p. 695-700. Out. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.039>>. Acesso em: 22 Ago. 2017.
- TURRIS, A; OCANDO, L; DE ROMERO, M. F; FERNANDEZ, M. Pueden los microorganismos impactar los materiales de construcción: una revisión. **Gaceta técnica**, Logroño, v10, p.23-33. Sep. 2013. Disponível em:<<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4752971>>. Acesso em: 22 Fev. 2017.
- VÉRAS, D. R; MARCONDES, J. A. A; MORELLI, M. R. Estudo da durabilidade do cimento de Fosfato de Magnésio contendo pó de retífica. **Cerâmica industrial**, São Carlos, v.12, p.34-43. Jul/Ago 2007. Disponível em: <<http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v12n04/v12n4a06.pdf>>. Acesso em: 07 Mar. 2017.
- VIDELA, H. A. **Biocorrosão, biofouling e biodeterioração de materiais**. São Paulo: Blucher, 2003. p.141.
- YANG, Q; WU, X. Factors influencing properties of phosphate cement-based binder for rapid repair of concrete. **Cement and concrete research**, v. 29, n. 3, p. 389-396, 1999. Disponível em:<<https://www.researchgate.net/publication/223033697>>. Acesso em: 26 Mai. 2017.