



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ADSON PINHEIRO QUEIROZ VIANA

Prospecção de bactérias biodespigmentadoras em argilas: alternativa biotecnológica para recuperação da tradição dos desenhos ornamentais em cerâmica artesanal da comunidade de Moita Redonda em Cascavel/Ce.

FORTALEZA

2020

ADSON PINHEIRO QUEIROZ VIANA

Prospecção de bactérias biodespigmentadoras em argilas: alternativa biotecnológica para recuperação da tradição dos desenhos ornamentais em cerâmica artesanal da comunidade de Moita Redonda em Cascavel/Ce.

Monografia apresentada ao curso de Ciências Ambientais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de graduado em Ciências Ambientais.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Oscarina Viana de Sousa
e Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Anna Lúcia dos Santos Vieira e Silva.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

V667p Viana, Adson Pinheiro Queiroz.

Prospecção de bactérias biodespigmentadoras em argilas: alternativa biotecnológica para recuperação da tradição dos desenhos ornamentais em cerâmica artesanal da comunidade de Moita Redonda em Cascavel/Ce. / Adson Pinheiro Queiroz Viana. – 2020.

70 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Ciências Ambientais, Fortaleza, 2020.

Orientação: Profa. Dra. Oscarina Viana de Sousa.

Coorientação: Profa. Dra. Anna Lúcia dos Santos Vieira e Silva.

1. biolixiviação. 2. biorremediação. 3. óxido de ferro. 4. biotecnologia ambiental. 5. design social. I. Título.

CDD 333.7

ADSON PINHEIRO QUEIROZ VIANA

Prospecção de bactérias biodespigmentadoras em argilas: alternativa biotecnológica para recuperação da tradição dos desenhos ornamentais em cerâmica artesanal da comunidade de Moita Redonda em Cascavel/Ce.

Monografia apresentada ao curso de Ciências Ambientais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de graduado em Ciências Ambientais.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Oscarina Viana de Sousa(Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Anna Lúcia dos Santos Vieira e Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Fátima Cristiane Teles de Carvalho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Edson José Carpintero Rezende
Universidade Estadual de Minas Gerais (UEMG)

AGRADECIMENTOS

O maior deles à Deus.

Mãe e Pai (Ádina Pinheiro e Sávio Viana), agradeço a vocês por tudo, principalmente por acreditarem em mim.

Irmã (Andréia Pinheiro), gratidão pela troca até aqui.

À toda família pelos incentivos, orações e bênçãos desejadas.

Agradeço às minhas orientadoras, Oscarina Viana e Anna Lúcia (Lilu) pelas oportunidades, dedicações, investimentos, paciência e por estarem sempre atentas a ouvir todos os meus questionamentos e inquietações. Muito orgulho de dividir essa pesquisa com vocês.

Isabele Baima, Lorrana Santana, Brena Jéssica, Liliam Fabricio, Gabriela Nunes, Naiara Moura, Lia Mendes, Alessandra Pereira, Mariana Araujo, Marina Sousa, Beatriz Teixeira, Mirela Albuquerque, Crica Pessôa, Giovana Oliveira, Luana Carvalho, Marina dos Santos, Lia Lima, Cristiane Conde, Brenda Rebouças, Edirsana Carvalho, Deborah Amarante, Larissa Brandão, Alinne Ferreira, Sylvânio Ferreira, Alberto Bessa, Cláudio Victor, Victor Furtado, Gabriel Oliveira, Patrick Facundo e Lucas Rocha, grato pela amizade e por deixarem os dias mais leves.

Gleire Rodrigues, que me orienta como amiga e como professora, gratidão demais!

Sou muito grato a todas as professoras e professores que me ajudaram a construir alguns conhecimentos durante os cursos de Ciências Ambientais e Design. Em especial à Danielle Garcez, Sandra Santaella, Camila Barros, Mariana Xavier, Lia Alcântara, Cláudia Marinho, Paulo Alcobia, Leonardo Buggy, Emílio Augusto e Marcus Vinícius.

A todos os participantes do Laboratório de Design Social (VARAL).

À toda equipe do Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado (LAMAP). Em especial Marina Rodriguez, Cristiane Teles e Jéssica Lucinda.

Aos moradores da comunidade de Moita Redonda em Cascavel/CE. Em especial agradeço a Dona Ireuda, a Dona Tarina e ao Seu Deca, que forneceram os materiais para serem analisados na pesquisa, e ao Tércio.

À banca examinadora, muito obrigado por acrescentar ainda mais a esse trabalho.

À coordenação do curso de Ciências Ambientais.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), um local de perfeitas balbúrdias.

À Kira e a Zaira.

RESUMO

Este projeto transdisciplinar se estende da ecologia e microbiologia do solo à tecnologia social, e possui uma abordagem que combina esforços para compreender os processos ecológicos e sociais de uma comunidade tradicional, produtora de artesanato com argila, localizado em Moita Redonda, distrito da cidade de Cascavel (CE). Nele se objetiva realizar o processo de biodespigmentação de uma argila vermelha mais abundante (toá vermelho) e solucionar uma das demandas da comunidade: a escassez da argila branca (toá branco), utilizada para realizar grafismos característicos nas peças artesanais de barro. Para isto, foi preciso ouvir os artesãos para entender toda a biodiversidade local, pois, entender e respeitar os diversos elementos do território, serviu para otimizar o processo metodológico, na tentativa de deixá-lo mais eficiente. Além disto, houve a busca por microrganismos capazes de solubilizar óxidos de ferro, a fim de criar consórcios bacterianos para otimização deste processo que é ambientalmente benigno, possui baixo custo inicial e operacional e preserva a estrutura cristalina da argila. Experimentos de biorremediação (bioaugmentação e bioestimulação) foram conduzidos para determinar parâmetros capazes de serem utilizados *in loco* pelos artesãos. Para entender o comportamento da ecologia microbiana das amostras coletadas e criar estratégias de pesquisa foi preciso aferir o pH das amostras, quantificar bactérias heterotróficas cultiváveis, isolar bactérias crescidas em meio de cultura não-seletivo e em meio de cultura seletivo com sulfato férrico, analisar a forma e o tipo de parede celular dos isolados e determinar a via de utilização de carboidrato. Para compor o consórcio utilizado na biodespigmentação da argila foi realizado teste *in vitro* de antagonismo entre os isolados. Também foram realizados ensaios que definiram o tipo de substrato (maltose ou sacarose) que melhor auxiliou no processo de solubilização dos óxidos de ferro. Os resultados comprovaram que a sacarose foi o substrato mais eficiente no processo de bioestimulação, sendo este otimizado quando associado ao processo de bioaugmentação de bactérias despigmentadoras heterótrofas autóctones da argila vermelha. Estas bactérias redutoras de Fe (III) são microrganismos promissores para a remoção de impurezas de ferro das argilas, e se tornarão referência para determinação de outros componentes para a biodespigmentação de argilominerais contendo óxido de ferro.

Palavras-chave: biolixiviação; biorremediação; óxido de ferro; biotecnologia ambiental; design social.

RESUMEN

Este proyecto transdisciplinario se extiende desde la ecología del suelo y la microbiología hasta la tecnología social, y tiene un enfoque que combina los esfuerzos para comprender los procesos ecológicos y sociales de una comunidad tradicional, productora de artesanías con arcilla, ubicada en Moita Redonda, distrito de la ciudad de Cascavel (CE). Tiene como objetivo realizar el proceso de biodigmentación de una arcilla roja más abundante (toá vermelho) y resolver una de las demandas de la comunidad: la escasez de arcilla blanca (toá branco), utilizada para hacer gráficos característicos en las piezas de artesanía de arcilla. Para ello, era necesario escuchar a los artesanos para comprender toda la biodiversidad local, porque la comprensión y el respeto de los diversos elementos del territorio, servían para optimizar el proceso metodológico en un intento de hacerlo más eficiente. Además, se buscaron microorganismos capaces de solubilizar los óxidos de hierro, a fin de crear consorcios bacterianos para optimizar este proceso, que es ambientalmente benigno, tiene un bajo costo inicial y operacional y preserva la estructura cristalina de la arcilla. Se llevaron a cabo experimentos de biorremediación (bioaugmentación y bioestimulación) para determinar los parámetros susceptibles de ser utilizados in situ por los artesanos. Para comprender el comportamiento de la ecología microbiana de las muestras recogidas y crear estrategias de investigación fue necesario medir el pH de las muestras, cuantificar las bacterias cultivables heterótrofas, aislar las bacterias cultivadas en un medio de cultivo no selectivo y en un medio de cultivo selectivo con sulfato férrico, analizar la forma y el tipo de pared celular de los aislados y determinar la ruta de utilización de los hidratos de carbono. Para componer el consorcio utilizado en la biodigmentación de la arcilla, se realizó una prueba de antagonismo in vitro entre los aislados. También se realizaron pruebas que definían el tipo de sustrato (maltosa o sacarosa) que mejor ayudaba en el proceso de solubilización de los óxidos de hierro. Los resultados demostraron que la sacarosa era el sustrato más eficiente en el proceso de bioestimulación, que se optimizó cuando se asoció al proceso de bioaugmentación de las bacterias despigmentantes heterótrofas de arcilla roja. Estas bacterias reductoras de Fe (III) son microorganismos prometedores para la eliminación de las impurezas de hierro de las arcillas, y se convertirán en una referencia para la determinación de otros componentes para la biodigmentación de las arcillas que contienen óxido de hierro.

Contraseñas: biolixiviación; biorremediación; óxido de hierro; biotecnología socioambiental; diseño social.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de Informações Geográficas da área estudada no município de Cascavel, no estado do Ceará.....	25
Figura 2 - Atual cadeia de produção do barro na comunidade.....	26
Figura 3 - Peças tradicionais, pintadas e riscadas com argilas encontradas nos rios próximos ao povoado de Moita Redonda.....	26
Figura 4 - Mecanismos utilizados pelas bactérias no processo de biolixiviação.....	34
Figura 5 - Registros durante a coleta das amostras <i>in loco</i>	38
Figura 6 - Tipos de argilas coletadas para análise.....	39
Figura 7 - Processo de diluição das amostras para quantificação e isolamento bacteriano.....	40
Figura 8 - Quantificação e seleção de bactérias para isolamento.....	42
Figura 9 - Observação morfológicas das células bacterianas em microscópio óptico com objetiva de imersão 100x.....	43
Figura 10 - Teste de Oxidação e Fermentação utilizado a Glicose.....	44
Figura 11 - Exemplo de resultado de teste de antagonismo com a técnica de estrias cruzadas.....	45
Figura 12 - Visualização dos sistemas estáticos em tratamento.....	49
Figura 13 - Registros feitos durante o processo de biodespigmentação do primeiro ensaio, após 15 dias.....	57
Figura 14 - Registros dos sistemas do segundo ensaio com consórcios, após 15 dias.....	58
Figura 15 - Registros dos sistemas não-estéreis bioestimulados e bioagumentados, do segundo ensaio, após 320 dias.....	59
Figura 16 - Registros dos sistemas não-estéreis bioestimulados, do segundo ensaio, após 320 dias.....	59
Figura 17 - Registros dos sistemas estéreis bioestimulados e bioagumentados, do segundo ensaio, após 320 dias.....	59
Figura 18 - Registros dos sistemas estéreis bioestimulados, do segundo ensaio, após 320 dias.....	60
Figura 19 - Análise da mudança de coloração entre os sistemas do segundo ensaio.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Organização informacional dos sistemas estáticos analisados.....	47
Tabela 2 - Valor de pH das amostras de argilas coletadas para análise.....	50
Tabela 3 - Caracterização Morfotintorial das estirpes bacterianas isoladas de argilas usadas na produção de cerâmicas na comunidade de Moita Redonda.....	53
Tabela 4 - Resultados da determinação das vias metabólicas utilizadas para degradar carboidrato entre as estirpes bacterianas isoladas das argilas usadas na produção de cerâmica na comunidade de Moita Redonda.....	55
Tabela 5 - Resultados do teste de antagonismo entre as estirpes bacterianas isoladas das argilas coletadas em Moita Redonda.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Unidade Formadora de Colônias de Bactérias Heterotróficas Cultivável por grama de argila inoculada em meios de cultura com pH diferenciados..... 51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BHC	Bactérias Heterótrofas Cultiváveis
CB	Conservação da Biodiversidade
CDB	Convenção sobre Diversidade Biológica
CPP	Contagem Padrão em Placa
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DS	Desenvolvimento Sustentável
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
LAMAP	Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado
ONG	Organização das Nações Unidas
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SISGEN	Sistema Nacional de Gestão de Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado
T&K	Tuovinen & Kelly – Meio de Cultura Seletivo
TA	Tecnologia Ambiental
TS	Tecnologia Social
TSA	Trypticase Soy Agar (Ágar Triptona de Soja)
TSB	Trypticase Soy Broth (Caldo Triptona de Soja)
VARAL	Laboratório de Design Social

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
(v/v)	Volume/volume
(NH ₄) ₂ SO ₄	Sulfato de amônio
°C	Grau Celsius
μl	Microlitro
CH ₄	gás metano
cm ³	Centímetro cúbico
CO ₂	Gás carbônico
FES ₂	Pirita
g	Gramas
h	Hora
L	Litro
mL	Mililitro
mm	Milímetro
N°	Número
nm	Nanômetro
pH	Potencial de Hidrogênio
ppm	Partícula por milhão
RPM	Rotação por minuto
UI/ml	Unidades Internacionais por mililitro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	Objetivo Geral.....	18
2.2	Objetivos Específicos.....	18
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
3.1	Biodiversidade.....	19
3.2	Bioprospecção.....	20
3.3	Território.....	22
3.4	Moita Redonda.....	24
3.5	Argilas.....	28
3.6	Microrganismos do Solo.....	30
3.7	Biorremediação com Microrganismos.....	31
3.8	Biolixiviação.....	33
3.9	Tecnologia Ambiental e Social.....	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
4.1	Procedimentos de Coleta.....	38
4.2	Aferição do pH das Amostras de Argila.....	38
4.3	Diluição das Amostras.....	39
4.4	Quantificação de Bactérias Heterotróficas Cultiváveis.....	40
4.5	Crescimento de Bactérias em Meio de Cultura Seletivo com Sulfato Férrico.....	40
4.6	Seleção e Isolamento de Colônias em Meio de Cultura Seletivo e Não-seletivo.....	41
4.7	Análise Morfotintoriais das Células (Técnica de Coloração de Gram)	42
4.8	Caracterização Bioquímica.....	43
4.8.1	<i>Teste de Oxidação ou Fermentação da Glicose (O/F)</i>	43
4.9	Caracterização Comportamental e Triagem das Estirpes para Criação do Consórcio Bacteriano.....	44
4.9.1	<i>Triagem in vitro de Isolados para Antagonismo</i>	44
4.10	Formação de Consórcios.....	45
4.11	Ensaio em Frascos Estáticos.....	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
5.1	Valor de pH das Amostras de Argila.....	50
5.2	Contagem Padrão em Placas.....	51
5.3	Isolamento.....	52
5.4	Análise Morfotintorial.....	52

5.5	Teste de Oxidação/Fermentação (O/F)	54
5.6	Antagonismo	56
5.7	Ensaio Estáticos	56
6	CONCLUSÕES	61
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

Uma das crises ecológicas provocada pelas práticas modernas, advindos da sociedade globalizada, revela a perda significativa da sociobiodiversidade em todo o mundo. No Brasil, estas perdas, iniciada por conquistas ocidentais armadas; por criminosas reduções culturais e territoriais, pertencentes aos povos originários; e pela escravização de nativos africanos, reverberam até hoje em comunidades que não estão incluídas em grupos majoritários (ARAÚJO, BRIDI E MOTIM, 2013; GIDDENS 1991; 2001; MATOS E SANTOS, 2018; MORAES *et al.*, 2017).

Todavia, à medida que as crises ecológicas de grande complexidade se tornam mais explícitas, as características da modernidade na sociedade ocidental são confrontadas pela diminuição de produções objetivas, materiais, duras e inquestionáveis. Estas crises têm provocado, desde a metade do século passado, a reflexão sobre a necessidade de mudanças de origens ideológicas e de valores, exigindo um reposicionamento da ética do progresso. Algumas alternativas de estar no mundo têm emergido, e vão contra o universo negacionista pregado pelas elites obscurantistas, construindo, assim, compromissos com a vida em comunidade e com a natureza (ACOSTA, 2016; ESCOBAR, 2015; LATOUR, 1994; 2020).

As ciências ambientais surgem neste contexto de reflexão e conformação da própria ciência, ao retomar a boa relação homem-natureza e propor um modo de fazer que transcende o campo disciplinar de forma crítica, emancipatória e criativa diante das crises (WALLS *et al.*, 2014). O principal desafio desta conformação diz respeito a quebra dos paradigmas científicos modernos, na tentativa de aproximar-se cada vez mais da cena pública, por meio da inclusão da subjetividade como fundamento para um redimensionamento do lugar em que o sujeito tem ocupado no território em que está inserido (DOMINGUES, 2011).

Para contribuir e difundir este modo de fazer ciência, o presente trabalho, conecta o indivíduo, a sociedade e o ambiente e aborda um problema complexo derivado da perda da biodiversidade em territórios criativos tradicionais. Além disto, a pesquisa entende a subjetividade humana, as relações sociais e o ambiente como uma dinâmica indivisível dos fenômenos, e não sua divisão, entendendo que os meios, os recursos e as tecnologias são utilizadas para convergência das boas práticas humanas com a conservação da biodiversidade, pois reconhece a legitimidade das populações autóctones e de suas relações de alto valor social e ecológico.

No início de 2019, foi dado início à incubação de um projeto cocriativo que relaciona ciência, design e os saberes locais de uma comunidade tradicional, conhecida como Moita

Redonda, localizada em Cascavel, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), no Ceará. Esta pesquisa, cadastrada no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SISGEN), diz respeito ao início de um processo de biodespigmentação de uma argila mais abundante na região (toá vermelho), a fim de solucionar uma das demandas da comunidade: a escassez da argila branca (toá branco), utilizada para realizar grafismos característicos nas peças artesanais de barro (VIANA, 2019).

A aplicação do método de lixiviação biológica para remoção de óxidos de ferro presentes em argilas naturais, especificamente nos caulins, tem sido interesse de pesquisas nas últimas décadas. Muitas destas têm se dedicado a estudar o potencial de despigmentação e refratariedade da argila enquanto preserva as especificações inerentes e melhoram o seu valor comercial. Os métodos de beneficiamento/remediação microbiana são preferidos, em relação aos químicos, por serem ambientalmente benignos (não usam nem liberam produtos químicos perigosos), não são intensivos em energia, têm custo inicial e operacional baixo e preservam a estrutura cristalina da argila (HOSSEINI E AHMADI, 2015).

Desse modo, as matérias-primas utilizadas para reprodução econômica e cultural de Moita Redonda foram objetos de estudo para proposição de uma tecnologia socioambiental iniciada pela busca de microrganismos capazes de solubilizar metais ferrosos que compõem a argila vermelha (toá vermelho), matéria-prima mais abundante na região, através de um processo de interação, entre as bactérias e os minerais que compõem as argilas, capazes de modificar sua coloração.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Prospectar microrganismos capazes de despigmentar argila vermelha como uma alternativa de tecnologia socioambiental eficaz e de baixo custo para a conservação da tradição de artesãs e artesãos da comunidade de Moita Redonda, no Ceará.

2.2 Objetivos Específicos

- Selecionar *in vitro* microrganismos autóctones, solubilizadores de ferro e não-patogênicos, a partir das argilas utilizadas pela comunidade de Moita Redonda;
- Isolar e caracterizar as estirpes bacterianas de interesse;
- Criar consórcios bacterianos para otimização do processo *in loco*;
- Avaliar a eficiência dos consórcios criados.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Está dividido em nove tópicos. Os três primeiros descrevem conceitos fundamentais para o início da pesquisa; a biodiversidade, onde se descreve a importância de conhecer os componentes, atributos e conexões do ecossistema para definir estratégias corretas que aproximem a ciência da conservação das discussões políticas eficientes; a bioprospecção, uma alternativa eficaz na conservação da biodiversidade; e, por último, o território, um conceito que revela a importância da participação das comunidades em pesquisas que as dizem respeito. O tópico quatro refere-se ao território específico da pesquisa, o povoado de Moita Redonda. O cinco apresenta referências sobre material manipulado na pesquisa, a argila; e no tópico seis, são descritas as relações dos microrganismos com o ecossistema terrestre e seus processos de interação. Os três últimos tópicos referem-se à mediação entre os fundamentos e o material pesquisado. O tópico sete fala sobre a biorremediação, uma abordagem ecologicamente correta, responsável por remover compostos nocivos ao meio ambiente. Já o oito apresenta o conceito de uma biotecnologia já existente, a biolixiviação, com seus benefícios e a sua importância. Por fim, no tópico nove, está descrito a importância das tecnologias ambientais e sociais, para auxiliar no entendimento da importância de adaptação da pesquisa para comunidade inserida no território pesquisado.

3.1 Biodiversidade

A diversidade biológica, ou biodiversidade, pode ser entendida como a infraestrutura que sustenta a complexidade da vida no planeta. Ela representa a variabilidade entre todos os organismos, e pode ser compreendida pelo habitat, comunidade, paisagem, território ou ecossistema. Este conceito foi desenvolvido para entender e relacionar os aspectos econômicos e sociais produzidos pelos seres humanos no sistema natural, no momento em que aumentava a percepção dos prejuízos da perda da variedade dos organismos nos ecossistemas (MARQUES, 2018; PURVIS E HECTOR, 2000).

A extinção de espécies altera a conexão dos elementos que compõem a Terra, o que, por sua vez, afeta a integridade dos ecossistemas e a capacidade da natureza de fornecer os serviços para que outras espécies possam se beneficiar. Por isso, a conservação da biodiversidade (CB) precisa ser um fundamento essencial diante de qualquer estratégia para garantir o funcionamento de sistemas naturais a longo prazo (MARQUES, 2018).

Nas últimas décadas, organizações internacionais, governos, ONGs, comunidades

locais e até algumas empresas tentaram reposicionar a ética de progresso, fazendo da CB um objetivo comum. Mais de 150 países acordaram ter este objetivo no tratado de Brundtland (WCED, 1987). Entretanto, com a expansão do conceito para área sócio-política, percebe-se a sua minimização em relação ao que os profissionais da conservação consideram (AGRAWAL E REDFORD, 2006). Além disto, as ferramentas que vêm sendo propostas para alcançar este e outros objetivos do desenvolvimento sustentável (DS) oferece opções para decisão política, sem ser um conjunto rígido de regras (UNESCO, 2012).

A generalização do termo, que passou a ser utilizado como sinônimo de natureza e/ou meio ambiente, ignorou o fato de que a biodiversidade tem diferentes componentes (genes, espécies, ecossistemas) e atributos (composição, estrutura e), que são afetados diferencialmente por vários tipos e intensidades de uso humano (REDFORD E RICHTER, 1999). As transigências que relaciona a CB ao DS tem revelado retrocessos significativos, já que, à medida que as crises ficam mais explícitas, mais o capital invade os direitos dos povos, dos saberes, dos modos de vida de comunidades locais e tradicionais, da democracia e da natureza, justificando salvar o sistema econômico-financeiro (CÚPULA DOS POVOS, 2012; SILVA, 2015).

Quando a Biodiversidade é entendida como um conceito que expressa complexidade natural e articula as inovações que visam desenvolver um novo paradigma de produção que incorpora fatores culturais, ecológicos e tecno-econômicos numa estratégia que é ecológica e culturalmente sustentável aos ecossistemas, torna-se possível entender que a CB não se separa da eliminação da pobreza, da busca por melhores condições de saúde, da educação e do enfraquecimento econômico (CRAVEN *et al.*, 2019).

De acordo com Niesenbaum (2019), existe uma crescente de estudos que evidenciam a biodiversidade de forma crítica por meio das funções e serviços dos ecossistemas dos quais os seres humanos dependem e estão diretamente ligados. Estes estudos consideram a biodiversidade e o território, e atendem às necessidades sociais e econômicas das comunidades que vivem nessas áreas ou perto delas. A participação do público na tomada e gestão de decisões ambientais é cada vez mais visto como essencial para o sucesso de iniciativas de conservação. As pesquisas que persistem neste domínio são extremamente necessárias para guiar tanto o desenvolvimento local, quanto as políticas de conservação mais acessíveis e menos genéricas.

3.2 Bioprospecção

A bioprospecção é o nome deste processo que consiste em métodos sistemáticos de localizar, avaliar e explorar recursos biológicos, genéticos e de conhecimentos tradicionais, que apresentam valor real ou potencial associado ao patrimônio genético, em um território com o objetivo de proporcionar benefícios para a humanidade, ao mesmo tempo em que fornece valor comercial (AZEVEDO, 2003).

Neste trabalho serão evidenciados dois métodos, um ecológico/social e um bioquímico. O primeiro é descrito por Andrade (2006), que descreve que os melhores resultados prospectivos se dão com o auxílio de comunidades que possuem contato direto com a natureza, já que elas possuem conhecimentos, práticas e costumes empíricos e geracionais. Não é por acaso que a maior parte da biodiversidade do planeta seja encontrada em territórios dos povos originários americanos. Para esses povos a natureza é indissociável e não está separada da sociedade, o que os difere da imposição da modernidade ocidental (SANTOS, 2010; TYBUSCH, 2016).

A outra estratégia utiliza-se dos microrganismos, pois estes são resultados da evolução e da adaptação de cerca de 3,8-4,2 bilhões de anos (BUNGE, WILLIS E WALSH, 2014; WEISS *et al.*, 2016). Sua diversidade, vias metabólicas, repertório genético, taxa de crescimento e adaptabilidade não se compara a outro grupo de organismo vivente neste planeta. São considerados os maiores químicos da terra, pois se utilizam de estratégias de sobrevivência que os tornam, sem dúvida, os seres vivos mais bem-sucedidos com capacidades metabólicas singulares e alta adaptabilidade. Um Estudo de Tanner, Vilanova e Porcar (2017) descreve que 99,9% de micróbios ainda não foram cultivados. As autoras afirmam ser possível que existam na natureza microrganismos com grande poder de síntese de novos metabólitos com funções melhoradas e qualidades desejadas.

Segundo Castro Júnior, Coutinho e Freitas (2008) para que estes e outros métodos prospectivos obtenham credibilidade científica, é preciso que se observe alguns princípios de teor político e econômico, como: o princípio de preservação, participação pública, transparência e promoção de justiça e equidade distributiva. A Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), diz que o conhecimento difuso, de caráter comunitário, deve ser realizado com o consentimento prévio das comunidades, e os benefícios oriundos dessa utilização devem considerar os princípios descritos anteriormente. É crucial que sejam considerados estes princípios em pesquisas deste espectro, tendo em vista que as inovações de caráter moderno, na maior parte das vezes os ocultam, de modo que as comunidades sofrem com a constante ação exploratória e predatória de seus territórios, de seus povos, saberes e cultura, já que não existem leis que regulamentem, nem meios eficientes para fiscalização.

Diante disto, tem-se um conflito em que de um lado estão as comunidades locais, com um raciocínio ecológico cuja sobrevivência está ligada ao uso e a conservação da biodiversidade à medida que “constroem” naturezas de formas diferentes das formas modernas extensivas, pois não separam o mundo biofísico, do humano e do sobrenatural. Do outro está o raciocínio econômico e os interesses comerciais, cujos lucros estão ligados à utilização da biodiversidade global como insumos de sistema de produção global, centralizado e homogêneo que causam: consumo extensivo de recursos naturais não-renováveis, emissão de poluentes, degradação ambiental, diminuição da fertilidade do solo, diminuição dos rendimentos agrícolas, emergência de patógenos vegetais e comprometimento da saúde humana (SHIVA, 2001).

Martínez (1996) afirma que o conflito entre o raciocínio econômico e o raciocínio ecológico, que é central nos debates sobre a biodiversidade, deve ser resolvido politicamente para que as estratégias de conservação não coloquem a biodiversidade à venda. Para promover a inovação em comunidades locais, como Moita Redonda, Escobar (1998) sugere que antes seja entendido como o conhecimento global pode ser positivamente ligado às práticas locais, unindo a vida social, o trabalho, a natureza e a cultura, de modo similar ao que ocorre nos movimentos sociais. Esta é uma abordagem que constitui uma inversão direta das propostas dominantes baseadas nos direitos de propriedade intelectual.

3.3 Território

O uso do conceito de território para fundamentação deste trabalho surge para nortear a utilização sustentável dos recursos naturais em um território específico e para auxiliar na descrição, interpretação e análise social e espacial do espaço geográfico. Para compreensão do conceito, é necessário, primeiro, romper com a ideia de que o termo é apenas um espaço, ou ainda um mero suporte e substrato (cartográfico) em que se assenta uma dada população. A simples imagem do território é válida, mas equivale apenas a uma apropriação primária/icônica do território (RAFFESTIN, 1993).

Além de ser uma abordagem útil para compreensão das formas de uso e ocupação do espaço, o território consegue se aproximar do lugar de vida, onde as vivências, sociabilidades e identidades acontecem. Essa aproximação é visualizada por uma capacidade relacional, composta, pelos instrumentos geográficos, pela natureza, e pela comunidade, que sempre está em movimento, e carrega conflitos, lutas e resistências do seu cotidiano (SANTOS, 2007; 2000; STÜRMER E COSTA, 2017).

Para Raffestin (1993) o território pode ser considerado como aquele que nasce de uma dimensão política, a partir de intenções de atores autóctones e alóctones, que atuam através do espaço e no espaço, e que procuram realizar e impor seus projetos e intenções, se utilizando do poder sobre o espaço em questão. Representa, portanto, uma zona de conflitos, em que de um lado está o mercado, e do outro a sociedade (SANTOS, 1997). Poder, intenção, controle, apropriação e identidade são conceitos que ajudam a entender a formação de territórios (SACK, 1986; SOJA, 1993; SOUZA, 2013)

Santos (2000) ajuda a visualizar a existência destes dois lados do território, que ora se associam e ora se chocam. Um é permeado pelos detentores de poder (disseminadores da globalização), que impõem suas maneiras colonizadoras, e outro composto de sujeitos menores, que são opostos, carregados de particularidades, sentimentos, rotinas, cotidianos que ocupam um determinado espaço social (RAFFESTIN, 1993). Entre os propagadores da globalização estão as corporações transnacionais, tão poderosos quanto, ou mais que, o próprio Estado. Eles atuam sobre o que Castells (1999) chama de “espaços dos fluxos”, e possuem um grande poder de modificação sobre os “espaços dos lugares”. Entre os sujeitos ocupantes dos espaços menores estão os representantes do terceiro setor da sociedade, que carregam uma identidade defendida fortemente, que os motivam a resistir às tentativas de extermínios de territórios, pois “esse é, também, um modo de insurreição em relação à globalização, com a descoberta de que, a despeito de sermos o que somos, podemos também desejar ser outra coisa” (SANTOS, 2000, p. 55, 56).

Para afirmar a importância dos sujeitos que ocupam os espaços menores diante de um território, Stürmer e Costa (2017) utilizam os escritos de Benjamin (1984). Ele explica que um mosaico é composto pela justaposição de elementos isolados e diferentes, e que cada fragmento possui seu lugar para contemplação do todo, e cita que “a relação entre o trabalho microscópico e a grandeza do todo plástico e intelectual demonstra que o conteúdo de verdade só pode ser captado pela mais exata das imersões nos pormenores do conteúdo material” (BENJAMIN, 1984, p.51). A menor escala, que pode ser até micro, é que possui o “conteúdo de verdade” sobre o território, por isso não seria certo aceitar que as relações de poder, presentes no território, emergissem apenas do Estado, pois a complexidade interna ao território, bem como a rede de relações sociais, e as diferentes escalas espaciais e temporais são ignoradas para construção deste (STÜRMER E COSTA, 2017; COSTA, 2016; SOUZA, 2008).

Portanto, o território “de verdade” é composto por: espaço(s), ator(es) e poder(es). O espaço dá origem a limites constituídos a partir da relação que o indivíduo ou coletivo

mantém com ele; o(s) ator(es) que se relaciona(m) com o espaço, e que revelam as relações marcadas pelo(s) poder(es) (STÜRMER E COSTA, 2017).

Saquet descreve outros signos existentes no território:

(...) temporalidades e territorialidades, descontinuidades; múltiplas variáveis, determinações e relações recíprocas e unidade. [...] é espaço de vida, objetiva e subjetivamente; [...] chão, formas espaciais, relações sociais, natureza exterior ao homem; obras e conteúdos. É produto e condição de ações históricas e multiescalares, com desigualdades, diferenças, ritmos e identidade(s). O território é processual e relacional, (i)material (SAQUET, 2007, p. 73).

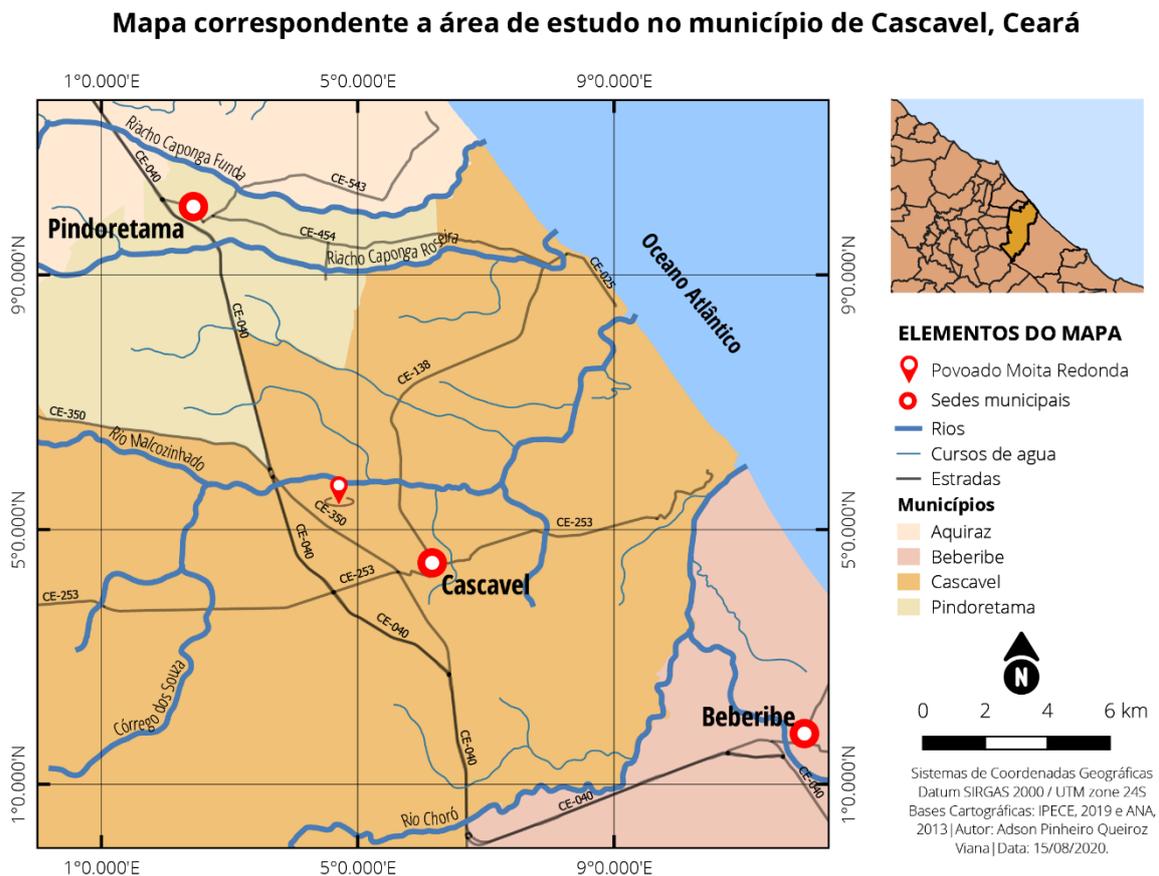
Entender os elementos que compõem o sistema do território estudado, auxilia na descrição, interpretação e análise do recorte social e espacial, e colabora com o objetivo de buscar por um desenvolvimento mais igualitário, socialmente justo; o que permite que as populações existentes nos territórios pesquisados alcancem condições de vida mais favoráveis, através de alternativas locais e, conseqüentemente, menos dependentes.

3.4 Moita Redonda

Moita Redonda é um povoado situado no município de Cascavel, que está localizado na macrorregião geográfica do litoral Leste/Jaguaribe e na mesorregião geográfica do norte do Ceará, a 66 Km de Fortaleza, capital do Ceará. Limita-se ao Norte com Oceano Atlântico, Pindoretama e Aquiraz, ao Sul com Ocara e Beberibe, a Leste com Beberibe e o Oceano Atlântico e a Oeste com Horizonte, Pacajus e Chorozinho (IPECE, 2012).

A área de estudo, representada na Figura 1, está localizada na Sub-Bacia do rio Malcozinhado e na Sub-Bacia do rio Choró. Ambas compõem o conjunto de bacias hidrográficas da região metropolitana de Fortaleza (RMF). O clima do município é caracterizado como Tropical Quente Semiárido Brando, apresentando pluviosidade média de 1.331,7 mm. A temperatura média varia de 26 °C a 28 °C. O período chuvoso concentra-se nos meses de janeiro a maio sendo, as precipitações regularmente distribuídas na estação chuvosa (IPECE, 2012).

Figura 1 - Sistema de Informações Geográficas da área estudada no município de Cascavel, no estado do Ceará.



Fonte: elaborado pelo autor.

O povoado de Moita Redonda possui cerca de 800 dos 9.985 habitantes em situação domiciliar rural do município (IPECE, 2012). Destes, cerca de 250 trabalham com artesanato de barro (BELAS, 2013). Em uma pesquisa recente, que está sendo cocriada com os moradores do local e participantes do VARAL (Laboratório de Design Social), do curso de Design, na Universidade Federal do Ceará, foram mapeados 44 núcleos familiares que trabalham modelando argila para produção de peças para subsistência. Uma produção centenária, geracional, influenciada pela intensa troca cultural entre indígenas e colonos da região, em que os artesãos e artesãs expressam sua criatividade na criação singular de peças utilitárias, lúdicas e decorativas. A Figura 2, a seguir, representa as atuais etapas na cadeia de produção do barro.

Figura 2 - Atual cadeia de produção de peças de barro na comunidade.



Fonte: adaptado de arquivos internos ao Laboratório de Design Social - VARAL.

Oliveira (2013) fez uma pesquisa em Moita Redonda em que se obteve os seguintes dados por meio de entrevistas *in loco*: existe uma maior quantidade de mulheres produzindo artesanato nos núcleos familiares, sendo mais representativo as que possuem idade entre quarenta e sessenta anos; a escolaridade da maioria dos entrevistados prevaleceu ensino fundamental incompleto; o estrato salarial é de meio até um salário mínimo e a principal fonte de renda é proveniente do artesanato com argilas, representado na Figura 3.

Figura 3 - Peças tradicionais, pintadas e riscadas com argilas encontradas nos rios próximos ao povoado de Moita Redonda.



Fonte: autor.

Das margens dos rios que estão próximos à comunidade, podem-se obter quatro tipos de barro. Dois deles são utilizados para dar forma/estrutura, que são: o barro roxo (barro preto) retirado principalmente do Rio Malcozinhado (33 Km de extensão) que está sobre as unidades geológicas representada por um empilhamento estratigráfico composto por embasamento cristalino, sedimentos da Formação Barreiras, e sedimentos arenosos (PINHEIRO, 2007); e o barro verde, considerado de melhor qualidade, que é retirado dos aluviões recentes do Rio Choró (205 km de extensão), onde afloram unidades litoestratigráficas desde o Pré-Cambriano até o Quaternário, com a ocorrência de rochas do embasamento, formações superficiais cenozóicas e feições quaternárias neofornadas (BEZERRA, 2006).

Os outros dois tipos de argila, retirados dos mesmos rios, possuem pigmentos e são utilizados para pintar/riscar as peças secas que já foram estruturadas. Estas argilas são selecionadas, quebradas, colocadas em água, coadas, para então ser amassada e usada para pintar ou riscar. Depois destes processos, as peças, já secas, são colocadas em fornos que possuem a temperatura média de 900 °C. Estas argilas são conhecidas na comunidade como toá/tauá vermelho (engobe vermelho), utilizada principalmente para revestir a peça de cor, e toá/tauá branco (engobe branco), o mais escasso, utilizado para fazer grafismos ornamentais identitários da comunidade. Um artesão da comunidade, relatou para Belas (2013) que extraía o toá branco em lugares profundos, de até dois metros, e dentro da água.

Atualmente, a maioria das áreas utilizadas pelos artesãos para a extração de barro é de propriedade de olarias que fornecem matéria-prima para a construção civil. A extração da matéria prima pelos próprios artesãos nas várzeas dos rios agora é pouco frequente. A comunidade só consegue acessar as argilas por meio de terceiros que as comercializam. Em maiores quantidades, as argilas são armazenadas em locais a céu aberto cobertas por uma lona. Quando em pequena quantidade, os oleiros armazenam dentro de suas residências.

Antes da escassez dos toás, principalmente o branco, os oleiros pintavam e riscavam antes de queimar. A alteração da forma de produção modifica a qualidade do barro fornecido, pois, ao deixar de pintar com argila, eles pintam com tinta acrílica, ou tinta de piso. Este fator somado a influências externas (globalização), tem substituído a cerâmica tradicional identitária por artefatos sem tradição, de baixo custo, produzidos em série e pintados com tinta acrílica (BELAS, 2013). Em entrevistas, os artesãos relatam que se tivesse o toá branco, trabalhariam com ele, por uma questão de otimização do processo, melhor qualidade e valorização da tradição (VIANA, 2019).

3.5 Argilas

Desde a pré-história o homem passou a observar que quando a argila era levada ao fogo, havia sua modificação já que sua resistência ficava maior. As primeiras civilizações começaram a otimizar a sua produção e melhorar suas propriedades para obtenção de artefatos por meio de métodos empíricos. Com o maior domínio do material, sabe-se que quando misturada com água em quantidade adequada, torna-se plástica; após secagem torna-se consistente e rígida, e após queima à temperatura elevada superior a 1000°C, adquire grande dureza. Com a otimização, foi dada importância para a argila em diversos segmentos: na agricultura, mecânica de solos, nas indústrias cerâmicas de papel, metalúrgica e petrolífera, etc. (GOMES, 1988; SANTOS, 1989).

A fração da argila, do ponto de vista sedimentológico, corresponde ao conjunto de partículas inferiores a 2 µm segundo a escala de Attemberg¹, ou 4 µm, de acordo com Wentworth (CABRAL JUNIOR *et al.*, 2008). Pelo olhar mineralógico, a argila é uma mistura de minerais, em que predominam os silicatos hidratados que podem possuir cátions de alumínio, magnésio, potássio e ferro (responsável pela cor vermelha característica nos produtos finais), com substâncias orgânicas de origem vegetal (húmus) e animal (microrganismos). Outra característica mineralógica, mais específica, mas que vale destacar, diz respeito a elevada CTC (capacidade de troca catiônica). Esta característica permite uma diversidade em suas aplicações industriais, por meio de técnicas simples e, portanto, tradicionais, a exemplo de sua aplicação na indústria cerâmica como matéria-prima para a produção de louça sanitária, pisos, revestimentos entre outros. Para o pedologista, este material é a fração mais ativa de um solo, e é responsável por fixar cátions e ânions (PRADO, 2011). Para aqueles que desconhecem, a argila é como um barro presente na natureza, o qual quando úmido, agarra no sapato e torna-se escorregadio (GOMES, 1988). Para o artesão, o mais interessado nesta pesquisa, a argila é um material para expressar sua cultura, estar em atividade e se sustentar.

De acordo com a origem geológica, as argilas podem ser classificadas como primárias ou residuais, que ocorrem onde se formam a partir de uma rocha-mãe (magmática, metamórfica ou sedimentar), enquanto as argilas sedimentares ou secundárias ocorrem a

¹ Escala logarítmica de classificação granulométrica (diâmetro maior) dos fragmentos de sedimentos clásticos, dos mais finos para os mais grossos: argila (< 4 µm) - silte (> 4 µm < 64 µm) - areia (>64 µm <2mm) - grânulo (>2mm - <4mm) - seixo (>4mm - <64mm) - bloco ou calhau (>64mm - <256mm)- matacão (>256mm).

distância maior ou menor do local de formação a partir de uma rocha-mãe (UDDIN, 2008). Em relação ao tempo cronológico, as argilas podem ser chamadas de terciárias, que são as coloridas, formando camadas de espessura grande em torno de 40 a 50 metros. Elas que são chamadas, em Moita Redonda, de toá, mas também são conhecidas como taguá, tauá ou tabatinga, para modificar a cor da cerâmica estrutural. Já as argilas quaternárias são as mais recentes e servem para a fabricação de cerâmica de louça. Elas formam camadas de espessura pequenas, oscilando em torno de um 1,0 a 2,0 metros. Entre essas argilas predominam as cores preta, marrom e cinza. A origem geológica influencia consideravelmente o produto argiloso final, muito embora o ambiente deposicional também tenha relevante importância para a definição das qualidades físico-químicas da argila, como plasticidade, expansividade, tonalidade etc.

Os minerais argilosos estão contextualizados em planícies aluviais, nos sedimentos fluviais, marinhos, lacustres ou eólicos, isto é, apresentam fácil acesso. Os depósitos de planícies aluviais são de argilas recentes que ocorrem, de forma restrita, em terraços, várzeas de rios e riachos, configurando extensas planícies de inundação. As camadas de argila oriundas dos depósitos aluvionares são, via de regra, de coloração que varia de cinza escura a esverdeada, constituindo um nível bem definido com cotas elevadas de 2 a 4 metros acima do leito do rio. São normalmente, pouco arenosas, com impurezas orgânicas e ferruginosas. Estes depósitos ocorrem em lagoas de água doce, rasas, transitórios, com formatos circulares ou elípticos, com tamanhos variáveis. Nas regiões semiáridas, os depósitos de argilas se formam na quadra invernal. Conseqüentemente, os depósitos têm relação com as enchentes e se localizam nas várzeas dos rios e na foz dos cursos secundários. Desta forma, essas argilas são, predominantemente, do tipo secundária (detrítica) isto é, foram transportadas, até o seu local de deposição e são relativamente jovens (holocênicas), servindo para a fabricação de cerâmica vermelha comum, também denominada cerâmica estrutural. Na faixa litorânea, os depósitos de argilas ocorrem associados tanto aos terraços aluviais dos rios e riachos como às lagoas (VIDAL *et al.*, 2005)

Pesquisas mostram que maioria dos ceramistas faz a formulação das massas misturando dois ou mais tipos de argilas até obter uma plasticidade desejada. Esta mistura é feita de forma empírica, com o conhecimento geracional adquirido, o que pode prejudicar o resultado final quanto à qualidade. Geralmente essa formulação envolve a mistura de uma argila caracterizada pela alta plasticidade, granulometria fina e composição essencialmente de argilominerais com uma argila rica em quartzo e menos plástica (CABRAL JUNIOR *et al.*, 2008; TEIXEIRA, SOUZA E MOURA, 2001).

Todas estas qualificações definem suas aplicabilidades industriais e artesanais. É um material bastante heterogêneo, cujas características dependem da formação geológica e da localização de sua extração, o que evidencia a necessidade de estudos de caracterização de modo a se ter o adequado conhecimento das características das jazidas, a fim de extrair o seu real potencial tecnológico, poupando esforços e economizando recursos, com o aproveitamento do recurso mineral de forma otimizada (MENEZES *et al.*, 2009).

Segundo Medeiros (2003), de modo geral, os depósitos de argilas do Ceará apresentam cores variáveis entre o cinza e o vermelho, eventualmente esverdeadas, esbranquiçadas e até azuladas. Sua plasticidade também é variável, dominando o tipo de plasticidade média. Excepcionalmente, algumas apresentam índice de plasticidade elevado. Vidal *et al.*, (2005) citam em sua publicação um relatório produzido em 1977 em que os caulins residuais oriundos dos pegmatitos cearenses, têm, de modo geral, cor branca a branca-amarelada, e baixo teor em ferro. Alguns destes possuem caulim de elevada pureza, de cor branca, com textura macia e granulação fina, não parecendo haver impureza alguma. Segundo o mesmo autor, existem reservas destes caulins residuais nos municípios de Cascavel, mas que estão, aparentemente, em estado de exaustão.

3.6 Microrganismos do Solo

A fração do complexo coloidal do solo, constituída de matéria orgânica (proveniente do processo de decomposição de animais e vegetais), rochas em desagregação e decomposição, água e minerais, é constituído, significativamente, por microrganismos (procariontes, fungos e vírus). A maioria deles são encontrados livremente no ambiente e estão associados a processos que beneficiam o equilíbrio do ecossistema. Por resultarem de uma evolução de bilhões de anos, e, conseqüentemente, compreenderem tão bem os sistemas ambientais e aperfeiçoarem os serviços ecossistêmicos em todos os setores da biosfera, os microrganismos são objeto de inúmeras pesquisas (ROCHA, 2020).

Segundo Dance (2008), em apenas um grama de solo é possível encontrar cerca de 10 a 50 mil espécies diferentes de microrganismos. Pham e Kim (2012) supõem que apenas 1% do total de microrganismos existentes no solo possam ser cultivados por meio de técnicas de microbiologia tradicional. Na busca por alcançar uma quantidade representativa da diversidade real da litosfera, os microbiologistas têm utilizado técnicas moleculares (ROCHA, 2020).

Os microrganismos mais encontrados no ambiente terrestre pertencem ao Reino Eubacteria, seguidos pelo Archaeobacteria, Fungi e Protista. Eles são responsáveis por fornecer nutrientes necessários para produção primária, e por consequência, mantém o equilíbrio da cadeia trófica. No solo eles estão em maior quantidade nas camadas mais superficiais, chegando até 30 cm de profundidade, já que é neste espectro que também se encontram os compostos orgânicos de forma abundante. Estima-se que em um grama de solo existam 100 milhões de bactérias (NUNES E REZENDE, 2015).

Estes organismos podem ser classificados em decompositores, mutualistas, patogênicos e quimiolitotróficos. Os decompositores, representado pelas *Actinobactérias*, são microrganismos heterotróficos e dominam o processo de degradação da matéria orgânica junto aos fungos, compondo juntos 90% do total de decompositores no ambiente terrestre. As mutualistas, representadas pelas bactérias do gênero *Rhizobium* e *Frankia*, são fixadoras de nitrogênio e cooperam com leguminosas e angiospermas para absorver nutrientes desses vegetais e, conseqüentemente, auxiliam na produtividade agrícola. Já as bactérias patogênicas, representada pela espécie *Clostridium botulinum*, levam a disfunções no desenvolvimento de outros organismos, pois objetivam a obtenção de nutrientes e fontes de carbono no ambiente, de modo a competir com outros organismos por esses recursos. Por último, temos as bactérias quimiolitotróficas, que obtêm energia por meio de compostos diferentes do carbono, como o nitrogênio, enxofre, hidrogênio e ferro. Como exemplo, tem-se a bactéria *Acidithiobacillus ferrooxidans*, uma bactéria aeróbia e quimioautotrófica, capaz de oxidar diferentes compostos para suprir a energia necessária ao seu metabolismo. Esta bactéria tem um papel importante no processo de decomposição da pirita (FeS_2) um dos principais elementos da crosta terrestre. Este processo é conhecido como intemperismo biológico (ROCHA, 2020; SASAKI *et al.*, 1998).

Quando estes microrganismos são classificados em relação a sua categoria nutricional, elas podem ser autotróficas (ou litotrófica), que são capazes de possuir o que necessitam através da síntese do gás carbônico (CO_2), o que as torna independentes dos compostos orgânicos pré-existentes; e heterotróficos (ou organotróficos), que necessita do carbono para sua síntese biológica a partir de outros compostos orgânicos. Entretanto, sabe-se também que existem microrganismos que utilizam compostos inorgânicos como fonte primária de energia, e o CO_2 como fonte de carbono, e que também necessitam de compostos orgânicos para se desenvolver (ROCHA, 2020).

3.7 Biorremediação com Microrganismos

Os microrganismos são ideais para a tarefa de degradação e remoção de resíduos orgânicos do meio ambiente devido à posse de sistema enzimático que lhes permite utilizá-los como alimento e energia. A biorremediação é um processo que envolve a detoxificação e mineralização, onde os resíduos são convertidos em compostos inorgânicos como dióxido de carbono, água e metano (BAMFORTH E SINLETON, 2005).

Este processo possui vantagens como a necessidade mínima de energia externa quando comparado a outras abordagens de remediação, baixo custo, degradação eficiente dos poluentes xenobióticos, mínima perturbação do local e baixo impacto ambiental. E também possuem desvantagens, como: a possibilidade de degradação incompleta/parcial de contaminantes orgânicos, resultando na produção de compostos intermediários tóxicos com mais mobilidade do que os contaminantes originais; a sensibilidade a fatores ambientais, que requer monitoramento do processo de biodegradação dos compostos solubilizado; e, geralmente, requer maior tempo de tratamento do que outras abordagens não biológicas (MENDES E VIVALDI, 2001; SHARMA E REDDY, 2004).

Duas abordagens para remediação foram descritas por Sangwan e Dukare (2018) com base na remoção e transporte de resíduos para tratamento: *in situ* e *ex situ*. As técnicas de biorremediação *in situ* envolvem a melhoria de atividades microbianas autóctones ou a inoculação de micróbios cultivados no ambiente, enquanto o *ex situ* exigem a remoção de solos contaminados para o tratamento em um biorreator ou via tratamento de superfície. A escolha pela técnica é influenciada por fatores como: condicionantes ambientais do local, a população endógena de microrganismos e o tipo/quantidade/toxicidade do componente que precisa ser retirado.

Existem três métodos utilizados para realização desta conversão: a bioatenuação, em que é atenuado o processo natural de degradação; a bioestimulação, onde a estimulação premeditada da degradação de compostos é obtida pela adição de água, nutrientes, doadores ou aceitadores de elétrons e a bioagumentação/bioaumentação, onde um inóculo, com capacidade demonstrada de degradar ou transformar os compostos químicos, é adicionado ao substrato. Estes métodos podem ser utilizados de forma agrupada (EVANS E FURLONG, 2003).

Os caminhos bioquímicos envolvidos na biorremediação têm relação com a capacidade dos microrganismos de incorporar as substâncias orgânicas simples em suas células e metabolizá-las se as condições nutricionais e ambientais favoráveis estiverem presentes. Estes caminhos são classificados em três categorias principais com base nos

mecanismos usados pelos micróbios para ganhar energia. No caminho anaeróbico os compostos orgânicos atuam como doador de elétrons e o oxigênio atua como aceitador de elétrons; no anaeróbico, o gás metano (CH₄) é produzido em vez de CO₂, para que haja a biodegradação dos compostos; e no caminho que se utiliza da fermentação os micróbios geram energia e realizam o processo de biodegradação. Neste último caminho as bactérias utilizam compostos orgânicos complexos como doadores de elétrons, assim como receptores de elétrons e produzem ácidos orgânicos, álcoois, hidrogênio e gás carbônico, contribuindo assim para o melhor funcionamento do ambiente (SANGWAN E DUKARE, 2018).

3.8 Biolixiviação

A biolixiviação é um dos processos de biorremediação utilizado para extração de metais e minérios que se encontram nas rochas por meio da exploração de métodos biológicos simples, eficientes e menos poluentes que os métodos físico-químicos tradicionais. Esta biotecnologia é baseada na atividade de microrganismos que convertem metais insolúveis em metais solúveis e emerge da conscientização da degradação ambiental causado pelo processo lixiviação tradicional que, além de ter uma recuperação deficiente de metais e minérios, envolve um alto custo de energia e processo e aumento da carga poluente nos recursos hídricos. Supõe-se que a biolixiviação tenha sido um processo utilizado há mais de dois mil anos pelos gregos e romanos, quando eles extraíam cobre de minas. Entretanto, a literatura científica só evidencia este potencial microbiológico, com ênfase nas bactérias, como tecnologia a cerca de 70 anos (ABHILASH E PANDEY, 2015; BOSSECKER, 1997).

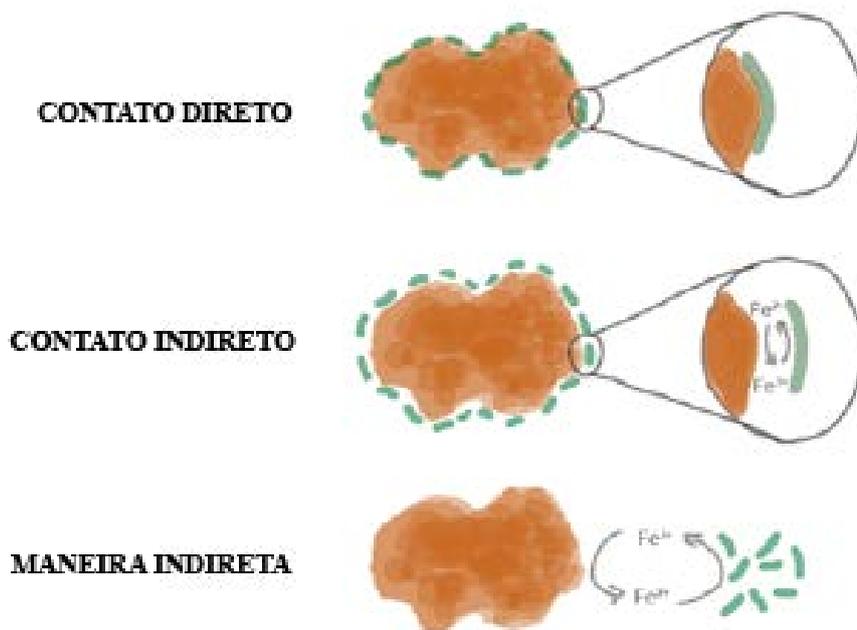
Para este processo acontecer, os microrganismos lixiviantes necessitam de algumas condições adequadas. As bactérias quimiolitotróficas, principalmente os *Thiobacillus ferrooxidans*, crescem sob condições aeróbias em ambiente ácido, com valores de pH entre 1,5 e 3, nos quais a maioria dos íons metálicos permanece em solução. Estes organismos estão otimizados quando em temperaturas entre 25 °C e 37 °C, mas existem bactérias encontradas em ambientes com temperatura acima de 60 °C, ou seja, podem ir de moderadamente termofílicas a termofílicas extremas.

Há também bactérias (*Bacillus* e *Pseudomonas*) e fungos (*Aspergillus* e *Penicillium*) heterotróficos que realizam esse processo. Para isso requerem suplementos orgânicos para crescimento e fornecimento de energia. Minerais contidos em areia de quartzo, caulins e argilas podem ser removidos por estes microrganismos a partir de compostos metálicos altamente oxidados afetados pela produção de ácidos orgânicos como o ácido oxálico, ácido

cítrico, ácido láctico, ácido glucônico e por compostos com pelo menos dois grupos reativos hidrofílicos (como os derivados do fenol) excretados no ambiente de cultivo, sendo capaz de dissolver os metais por meio da troca de íons do minério pelo íon de hidrogênio, de modo a formar complexos metálicos solúveis (ABHILASH E PANDEY, 2015; BOSSECKER, 1997).

Em princípio, os metais contidos nos minerais podem ser solubilizados por meios da lixiviação bacteriana por contato direto, onde as bactérias se fixam à superfície da estrutura cristalina durante a dissolução oxidativa do mineral; por contato indireto, quando as bactérias secretam uma substância que a conecta metal, em que se estabelece uma atração eletrostática e de maneira indireta, ocorrendo a produção de substâncias que reagem com o material, sem contato com a superfície cristalina. Este processo causa a dissolução dos componentes insolúveis ou formam outros produtos expansivos (CRUNDWELL, 2003). Estes mecanismos estão representados na Figura 4 a seguir.

Figura 4 - Mecanismos utilizados pelas bactérias no processo de biolixiviação.



Fonte: autor.

As abordagens experimentais utilizadas para biolixiviação de minerais têm geralmente envolvido diversas técnicas em laboratório. Neste trabalho dois métodos laboratoriais serão evidenciados: o submerso (reator) e o método em coluna, que se assemelha ao processo de pilhas utilizado nas indústrias.

A lixiviação bacteriana de coador, ou de coluna, consiste em um tubo de vidro que, na parte inferior, possui uma peneira onde são despejadas as partículas minerais. Neste processo o minério acondicionado é irrigado com um inóculo bacteriano. O líquido lixiviado goteja por meio de uma coluna em que é bombeada por um ar estéril, de cima para baixo, pois deste modo o fluxo de ar consegue aerar o sistema. Este método de percolação utiliza minérios mais grosseiros, que são mais próximos da realidade *in situ*. Estes estudos são de longa duração, durando vários meses ou anos, impondo assim várias decisões que podem ser difíceis de resolver. Podem resultar em gradientes, formando diferentes zonas, que podem apresentar diferenças em potencial redox, precipitação de ferro e formação de enxofre elementar. São análogas a biolixiviação em pilha usada na indústria (ABHILASH E PANDEY, 2015; BOSSECKER, 1997)

A biolixiviação submersa é também conhecida como biolixiviação por suspensão ou agitação. Neste método se usa minérios de grãos finos (menor que 100 μm) onde são submersos no meio nutriente e mantido em movimento por agitação ou anel de agitação. Um método de fácil controle e regulação (ABHILASH E PANDEY, 2015). As finas partículas, dificultam a percolação, sendo necessário o tratamento por suspensão. Isto é feito em um frasco com biorreator (agitação e aeração) (MUÑOZ *et al.*, 1995).

Abhilash e Pandey (2015) descrevem que o processo de retirada de metais e minérios com microrganismos é uma alternativa altamente seletiva, economicamente correta e economicamente atraente. Seus procedimentos são simples e de fácil manuseio, e não é necessário um elaborado conhecimento técnico. Espaços de biolixiviação *in situ* podem ser projetados nas imediações do depósito de sedimentos, economizando custo de transporte.

O uso de microrganismos autóctones isolados do ambiente específico da mina tem sido a abordagem mais prática para estabelecer um processo de biolixiviação para um determinado depósito devido a sua tolerância natural, com condições químicas e ambientais específicas. Ao compreender o melhor mecanismo utilizado para oxidação bacteriana (contato direto, contato indireto, maneira indireta), se torna possível adaptar espécies microbianas (individuais ou em consórcio) a um ambiente particular, a fim de aumentar sua eficiência (ABHILASH E PANDEY, 2015).

3.9 Tecnologia Ambiental e Social

As tecnologias, de modo geral, expandem o conhecimento científico/técnico em processos e produtos, que são criados ou podem ser modificados a partir desse conhecimento

para resolver problemas organizacionais práticos da sociedade moderna/contemporânea. A pouca participação pública na formulação e implementação de políticas de construção das tecnologias, ocasionam diversos problemas ambientais que precisam ser observados com um novo olhar (ANDERSON E RAINIE, 2018; MEDEIROS *et al.*, 2017).

As questões ambientais necessitam da convergência entre ciência, tecnologia e sociedade e do reconhecimento da importância destes elementos de modo a oferecer sinergias para que todos alcancem seu potencial máximo. A crescente exclusão social e a percepção de que é necessária uma tecnologia que corresponda aos objetivos da sociedade, tem feito emergir novos tipos de tecnologias que visam uma transformação na forma como os problemas são definidos, por meio de um processo mais colaborativo (LEAL FILHO *et al.*, 2018). A seguir serão apresentadas duas destas tecnologias que procuram compreender o contexto e as restrições sociais: a tecnologia ambiental e a tecnologia social.

A tecnologia ambiental (TA) utiliza o conhecimento fornecido pelas ciências, que procura compreender o funcionamento da natureza, e aproxima da sociedade, conectando o pensamento participativo com uma compreensão holística. Voulvoulis e Burgman (2019) definem esta tecnologia como aquela que tem um enfoque que busca melhorias das condições ambientais para atuar como solução de problemas no processo de transição do estado do sistema insustentável para o estado do sistema sustentável. Esta forma de olhar converge a ciência e tecnologia e evidencia o importante papel da biodiversidade, de modo a incluí-la neste processo de mudança (BENGTSSON *et al.*, 2018).

Os mediadores desta tecnologia devem ter habilidades para facilitar a participação pública na tomada de decisões ambientais sobre o que deve ser alcançado, e como, aumentando a apropriação do problema e, portanto, as chances de aceitação da proposta e sucesso na implementação. Eles permitirão que os principais beneficiados compreendam e definam melhor os desafios da sustentabilidade com base na ciência disponível e (co)respondam às mudanças necessárias e apropriadas (CLARK, STEEN-ADAMS, PFIRMAN E WALLACE, 2011; VOULVOULIS E BURGMAN, 2019).

Neste mesmo sentido emerge o conceito de tecnologia social (TS). O que a difere da TA tem relação com a inclusão de pessoas que estão à margem da sociedade, no processo de construção do processo ou produto com olhar do desenvolvimento territorial. Além disso, esta tecnologia também deve atender aos quesitos de simplicidade, baixo custo, fácil aplicação e geração de impacto social. Medeiros e colaboradores (2017) definem como um processo de construção de baixo para cima (*Bottom-up*), que parte do conhecimento difuso da comunidade, que apesar das dificuldades, na maioria dos casos, encontram a solução para

os seus problemas ou, pelo menos, sabem fornecer caminhos de como viabilizar essas soluções. Desse modo, o processo de construção da tecnologia social, se dá pela consciência dos próprios atores envolvidos que buscam melhorar a qualidade de vida, confirmando na prática a diferença entre a tecnologia social e a tecnologia convencional (MORAES, 2012).

A TS é uma das ferramentas para que a Inovação Social (IS) seja percebida. As tecnologias sociais são aplicadas em um nível micro, com mais eficiência a comunidades e localidades, e as inovações sociais podem estar tanto no nível micro quanto no macro. Esta corresponde a iniciativas implementadas em comunidades locais e que se expandem para regiões e países (MEDEIROS *et al.*, 2017; MORAES, 2012; OLIVEIRA E SILVA, 2012).

Quando estas duas tecnologias apresentadas permitem a inclusão do conhecimento difuso ao conhecimento específico, os indivíduos autóctones participam do desenvolvimento das novas formas de fazer, com elementos do seu próprio território, o que facilita o entendimento das novas produções, já que são colaborativas, objetivando a melhoria da qualidade de vida local, podendo servir de inspiração para outros grupos com problemáticas similares. Dagnino (2009) resume, dentro desta perspectiva, que o resultado da colaboração, sobre um processo funcional colaborativo em um contexto social e econômico, necessita de um ambiente produtivo, um controle no formato de autogerenciamento e uma cooperação voluntária e participativa, do modo a permitir uma modificação no produto/processo gerado passível de replicação.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente seção tem por objetivo apresentar todo o processo utilizado para a execução desta pesquisa e para obtenção de resultados almejados. Serão descritos os processos realizados no Laboratório de Microbiologia e do Pescado (LAMAP) para análise microbiológica deste sedimento, para assim entender suas potencialidades e limitações de utilização como tecnologia social e ambiental na comunidade.

4.1 Procedimentos de Coleta

Para entender a biodiversidade encontrada no local e no material pesquisado foram realizadas sete visitas de campo. As amostras de argila verde (Rio Choró), roxa (Rio Malcozinhado), branca (Rio Choró) e vermelha (Rio Malcozinhado) foram obtidas de diferentes artesãos locais. Todas as amostras foram armazenadas em sacos de polietileno para transporte até o laboratório.

Figura 5 - Registros durante a coleta das amostras de argila na comunidade de Moita Redonda.



Fonte: autor.

4.2 Aferição do pH das amostras de argila

Antes de diluir as amostras para quantificação bacteriana, as quatro argilas (Figura 6) tiveram o pH determinado pelo potenciômetro, um método que se utiliza de uma solução

formada por uma quantidade de solo (cm^3) e outra de água destilada ou de solução salina (mL) na proporção de 1:2,5. (GUIMARÃES *et al.*, 1970; MENDHAN *et al.*, 2002)

Figura 6 - Tipos de argilas coletadas para análise.



Fonte: autor.

4.3 Diluição das amostras

Dez gramas (10 g) de cada amostra de argila coletada foram homogeneizadas, sob agitação, com 90 mL de solução salina a 0,85%, correspondendo a diluição 10^{-1} . Essa primeira diluição foi colocada sob agitação por duas horas em uma incubadora orbital (TE-4200-Tecnal) com velocidade de 100 RPM a uma temperatura controlada de 25 °C. Após este processo, foram feitas as diluições seriadas até a diluição 10^{-5} . Todo o processo está representado na Figura 7.

Figura 7 - Processo de diluição das amostras de argila para quantificação e isolamento bacteriano.



Fonte: autor.

4.4 Quantificação de Bactérias Heterotróficas Cultiváveis

A quantificação das bactérias heterotróficas cultiváveis (BHC) foi feita pelo método de Contagem Padrão em Placas (CPP), por meio da técnica de semeadura em profundidade (*Pour Plate*). Alíquotas de 1 mL das diluições foram colocadas em placas de Petri, em duplicata, e cobertas com o meio de cultura *Tryptic Soy Agar* (TSA). Cada amostra foi inoculada em três conjuntos de placas contendo meio TSA com pH 5, 7 e 9, para simular ambientes ácidos, neutros e básicos, respectivamente. As placas inoculadas foram incubadas em estufa a 37 °C por 48 horas. Após a fase logarítmica de crescimento, as placas com número de colônias entre 25 e 250 foram contadas e os resultados expressos em unidades formadoras de colônias por grama de argila (TORTORA, FUNKE E CASE, 2012).

4.5 Crescimento de Bactérias em Meio de Cultura Seletivo com Sulfato Férrico

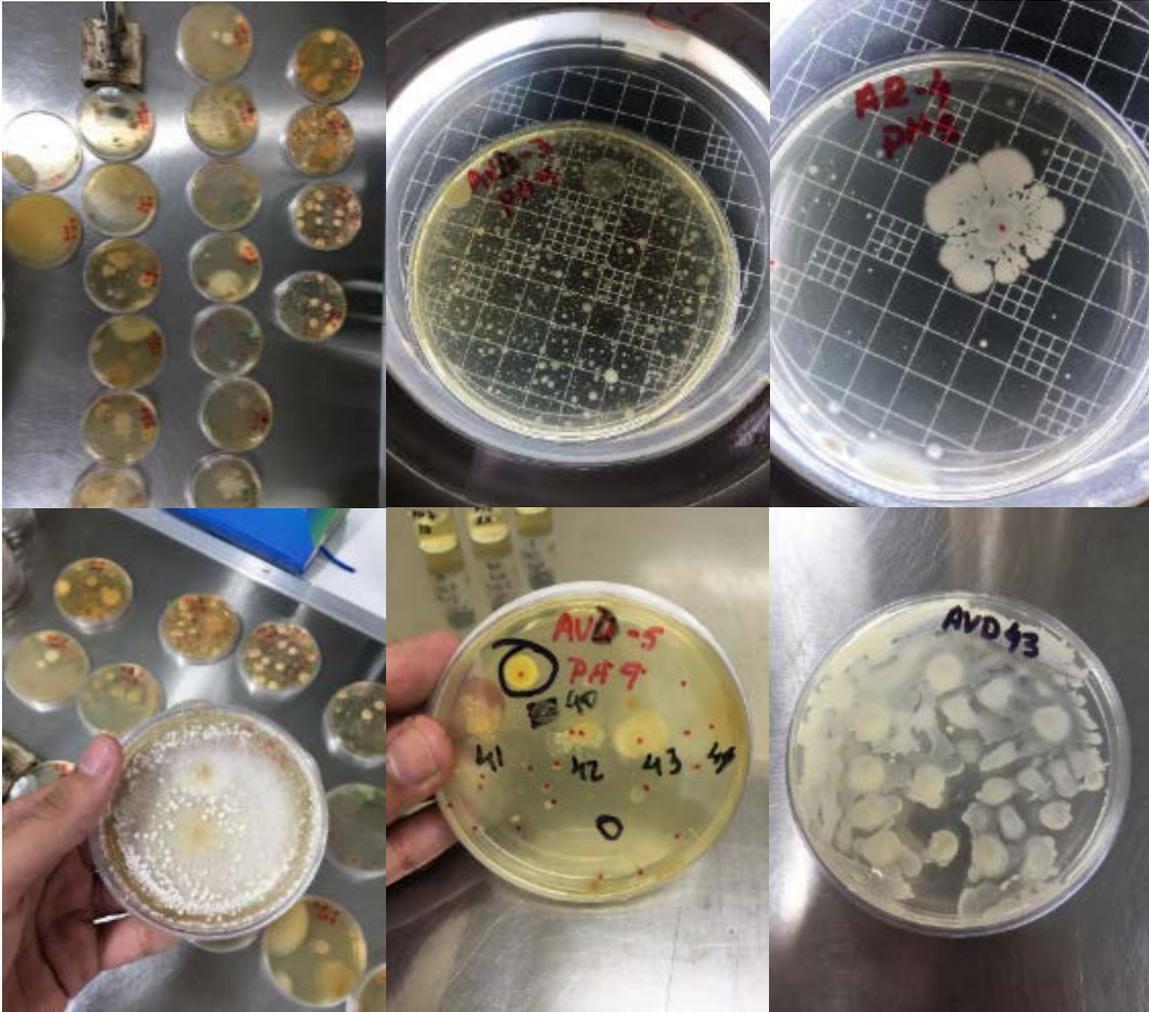
Alíquotas de 1 mL das amostras diluídas foram inoculadas na superfície do meio de cultura seletivo T&K-agarose, para bactérias oxidadoras de ferro, pela técnica de *Pour Plate* e incubadas em estufa bacteriológica a 29 °C por aproximadamente 7 dias, ou até o aparecimento das colônias (GARCIA JUNIOR., 1989; GARCIA JUNIOR., MUKAI E ANDRADE, 1992; TUOVINEN E KELLY, 1973).

4.6 Seleção e Isolamento de Colônias em Meio de Cultura seletivo e Não-seletivo

Nas amostras da segunda coleta, não houve quantificação, apenas isolamento de bactérias crescidas em meio não-seletivo (TSA) com pH 5,5 e 1% de sacarose. Para estes isolados foi utilizada a mesma técnica de semeadura e tempo de incubação usada na primeira coleta. Ao fim do tempo de incubação, as placas com crescimento elevado de colônias com características de fungos filamentosos foram descartadas. As placas com menor número de colônias com características de fungos foram passadas para um meio de cultivo não-seletivo, *Tryptic Soy Broth* (TSB), com pH 5,5 contendo nistatina (em 50 mL de TSB foi colocado 250 µL de nistatina com 100.000 UI/mL) para inibição de fungos. Após incubação (37 °C por 24 h), os conteúdos crescidos foram estriados em placa contendo meio TSA com pH 5,5, para posterior isolamento.

As colônias que se destacaram em relação às mais abundantes no meio de cultura foram selecionadas, pescadas e inoculadas em tubos contendo caldo TSB com pH 5,5. Alguns dos crescimentos (fúngico/bacteriano) sobre os meios de cultura estão representados na Figura 8. Após incubação (37 °C por 24 h) as colônias que obtiveram o crescimento evidente, foram passadas para dois tubos com TSA, um para análise morfológica das células e testes bioquímicos, que serão apresentados a seguir, e o outro para armazenamento em incubadora BOD (*Biochemical Oxygen Demand*).

Figura 8 - Crescimento bacteriano sobre os meios de cultura após período de incubação.

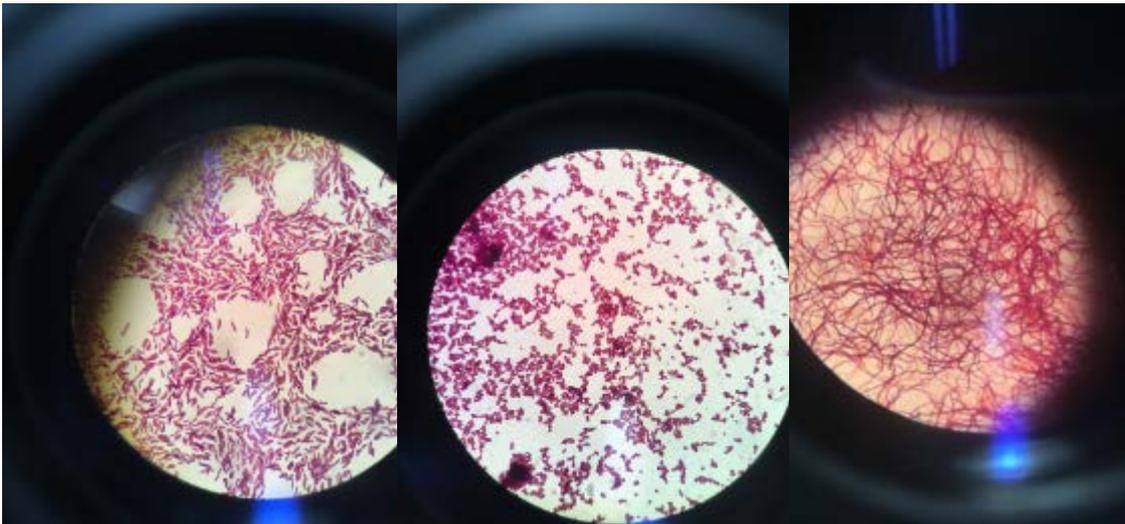


Fonte: autor.

4.7 Análise Morfotintoriais das Células (Técnica de Coloração de Gram)

A técnica de coloração de Gram caracteriza a parede celular dos isolados bacterianos de acordo com o protocolo descrito por Tortora, Funke e Case (2012). Com esta técnica é possível dividir as células bacterianas em Gram-positivas e Gram-negativas. Na Figura 9 contém apenas bactérias Gram-positivas em formato de bastonete, cocos e filamentos ramificados, respectivamente.

Figura 9 - Observação morfotintoriais das células bacterianas em microscópio óptico com objetiva de imersão 100x.



Fonte: autor.

4.8 Caracterização Bioquímica

Os testes bioquímicos para identificação dos microrganismos são utilizados em associação com os resultados obtidos a partir da coloração de Gram, a fim de caracterizar as estirpes fenotipicamente. Eles servem como prova definitiva na identificação das bactérias isoladas, visto que as propriedades metabólicas são únicas para cada espécie. Neste projeto foi realizado o teste de Oxidação e Fermentação de acordo com MacFaddin (2003).

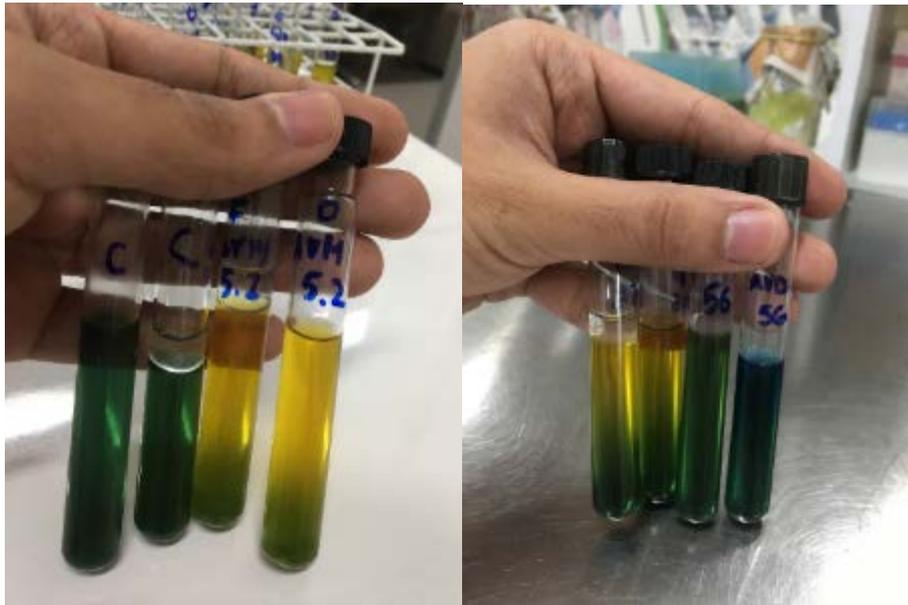
4.8.1 Teste de Oxidação ou Fermentação da Glicose (O/F)

Este teste tem o objetivo de classificar os microrganismos que usam carboidratos de acordo com a utilização das suas vias metabólicas para obtenção de energia. O teste é capaz de diferenciar microrganismos de acordo com a capacidade de oxidar ou fermentar açúcares específicos, neste caso, a glicose. Durante a conversão, o meio pode ser acidificado. Este processo pode ocorrer tanto de forma aeróbia, pela oxidação, como de forma anaeróbia, pela fermentação. As bactérias que oxidam a glicose serão denominadas aeróbicas, enquanto outras podem crescer, realizar seu metabolismo e se reproduzir em condições aeróbicas ou anaeróbicas, e por isso podem ser chamadas de anaeróbias facultativas.

Para realização do teste, dois tubos com meio base O/F acrescidos com glicose (10 g/L) foram inoculados, e um dos tubos foi selado com óleo mineral (vaselina líquida), criando

assim um ambiente anaeróbico, uma vez que este retarda a difusão do oxigênio dentro do meio. Os dois tubos foram incubados a 37 °C por 48 horas, para posterior análise de mudança de cor. A não alteração da cor inicial ou modificação do meio para cor azulada indica a incapacidade do microrganismo consumir o carboidrato. A mudança para cor amarelada indica a capacidade de fermentar ou oxidar a glicose (Figura 10).

Figura 10 - Teste de Oxidação e Fermentação utilizando a glicose como fonte de carboidrato.



Fonte: autor.

4.9 Caracterização Comportamental e Triagem das Estirpes para Criação do Consórcio Bacteriano

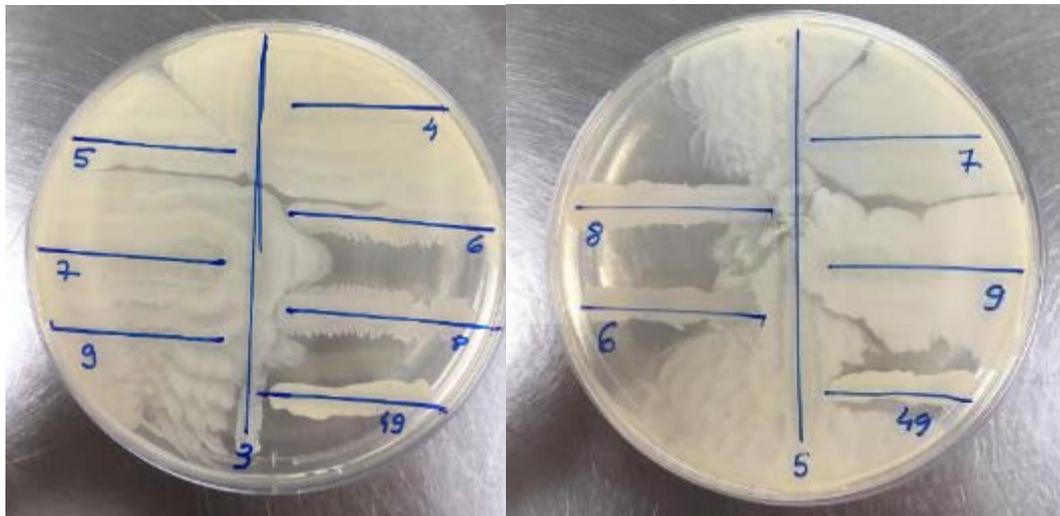
Foram realizados testes de compatibilidades entre os inoculantes utilizando o método de antagonismo direto (STOCKWELL *et al.*, 1996) como critério na montagem dos consórcios bacterianos. O teste de antagonismo direto se deu pela técnica de estrias cruzadas com algumas modificações (MOHSENI *et al.*, 2013).

4.9.1 Triagem *in vitro* de Isolados para Antagonismo

A triagem preliminar foi feita usando a técnica de plaqueamento em meio ágar TSA, com pH 5,5. O teste consiste na utilização das culturas renovadas, tendo suas concentrações aferidas por espectrofotômetro, uma forma de garantir a proximidade de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) por mililitro, até a turbidez corresponder aos padrões de 0,5

na escala de McFarland, ou seja $1,5 \times 10^8$ UFC/mL. Após este processo, os inóculos são espalhados perpendicularmente com um cotonete estéril. Primeiro é feito um inóculo, em posição central na superfície da placa com uma das cepas testadas. Em seguida, são estriados até seis inóculos perpendiculares à primeira estria, mantendo uma distância de aproximadamente 0,5 cm. Posteriormente as placas são incubadas em estufa bacteriológica a 37°C e observadas com 24h e 48h. As interações microbianas, representadas na figura 11, são observadas e analisadas pela zona de inibição. As estirpes que não apresentam inibição de crescimento são consideradas negativas no teste de antagonismo. Não antagonismo e oxidação ou fermentação positiva foram os critérios usados para composição dos consórcios bacterianos.

Figura 11 – Visualização de placas inoculadas para leitura do resultado do teste de antagonismo com a técnica de estrias cruzadas.



Fonte: Autor, 2020.

4.10 Formação de Consórcios

Para formar os consórcios bacterianos e utilizá-los nos ensaios, as estirpes que utilizam vias de oxidação ou vias de fermentação e são não antagônicas foram inoculadas separadamente em um Erlenmeyer contendo caldo 150 mL de TSB com pH 5,5, e colocadas em *shake* por 48 h em velocidade de 100 RPM, sob temperatura de 25°C . Após o período de incubação em agitação orbital, 90 mL do meio em que se cultivou as bactérias selecionadas foram colocados em um tubo de *Falcon* para ser centrifugado, a 16.000 RPM a 20°C por dez minutos a fim de formar o *pellet* bacteriano, uma pequena porção de bactérias aglomeradas/comprimidas. Depois que o *pellet* é separado do meio de cultura, adiciona-se 9 mL de solução salina a 0,85%, para lavar este material bacteriano super concentrado. Logo

após, 1 mL desta solução é retirada para ser inserido em um tubo contendo 9 mL de uma nova solução salina a 0,85%. Após este processo, a suspensão bacteriana foi quantificada pela densidade óptica em espectrofotômetro, em um comprimento de onda de 625 nm, onde a escala 0,5 de McFarland corresponde à densidade óptica de 0,08 a 0,1, ou seja, em média $1,5 \times 10^8$ UFC/mL.

4.11 Ensaios em Frascos Estáticos

Dois ensaios foram realizados para biolixiviação. Ambos ocorreram em frascos estáticos em escala de bancada, a fim de avaliar a capacidade bacteriana de solubilizar os óxidos de ferro contidos na argila vermelha em estudo. Para isto foram utilizadas duas técnicas: a de bioestimulação com dissacarídeos, que cria condições para o aumento da população autóctone e a de bioagumentação autóctone, em que foi introduzido um dos consórcios bacterianos selecionados a partir de amostras das argilas analisadas, somada a bioestimulação. No primeiro ensaio de bioestimulação a fonte energética utilizada foi a maltose, um açúcar mais simples, já no segundo ensaio a sacarose foi a fonte energética utilizada, um açúcar mais complexo, e mais próximo ao açúcar alimentar.

Os dois ensaios possuíam nove sistemas para análise, sendo cinco em frascos transparentes e quatro em frascos âmbar. Todos os sistemas foram feitos em quintuplicatas e estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 - Organização informacional dos sistemas estáticos analisados.

TIPO DE FRASCO	Nº DE FRASCOS	CONDIÇÃO DA ARGILA	TIPO DE REMEDIAÇÃO	TEMPO DE OBSERVAÇÃO		
				ENS. 1	ENS. 2	
FRASCOS TRANSPARENTES	T1	5	NÃO-ESTÉRIL	BIOESTIMULAÇÃO	15 DIAS	15 E 320 DIAS
	T2	5	ESTÉRIL	BIOESTIMULAÇÃO +BIOAUMENTAÇÃO	15 DIAS	15 E 320 DIAS
	T3	5	NÃO-ESTÉRIL	BIOESTIMULAÇÃO +BIOAUMENTAÇÃO	15 DIAS	15 E 320 DIAS
	CONTR. 1	5	ESTÉRIL	BIOESTIMULAÇÃO	15 DIAS	15 E 320 DIAS
	CONTR. 2	5	NÃO-ESTÉRIL	SEM REMEDIAÇÃO (água destilada)	15 DIAS	15 E 320 DIAS
FRASCOS ESCUROS (ÂMBAR)	E1	5	ESTÉRIL	BIOESTIMULAÇÃO	15 DIAS	15 E 320 DIAS
	E2	5	NÃO-ESTÉRIL	BIOESTIMULAÇÃO +BIOAUMENTAÇÃO	15 DIAS	15 E 320 DIAS
	E3	5	NÃO-ESTÉRIL	BIOESTIMULAÇÃO +BIOAUMENTAÇÃO	15 DIAS	15 E 320 DIAS
	CONTR. 3	5	ESTÉRIL	BIOESTIMULAÇÃO	15 DIAS	15 E 320 DIAS

Fonte: autor.

Os ensaios foram realizados em frascos com capacidade de 100 mL. As argilas que foram esterilizadas passaram pelo processo de tindalização² para diminuição da carga microbiana. No primeiro ensaio utilizou-se 12 g de argila vermelha e 3 mL de solução com 0,5% de maltose (glicose + glicose) em todos os sistemas, exceto no sistema controle. Neste foi utilizado a mesma quantidade de argila, mas com 3 mL de água destilada. No segundo ensaio foram adicionados 20 g de argila vermelha aos frascos e 20 mL de solução com sacarose (glicose + frutose) em todos os sistemas. Nos sistemas de tratamento misto (bioestimulação e bioaumentação) foi adicionada 1mL de cada estirpe O/F positiva não antagonica que compõem o consórcio, a solução bioestimulante.

² Uma técnica de esterilização vinculado ao físico inglês Jonh Tindall (1877), capaz de eliminar esporos resistentes ao calor. Consiste em manter o material a uma elevada temperatura, passando, logo depois, por um processo de resfriamento. Esse procedimento é repetido no mínimo 3 vezes. Durante o resfriamento os esporos passam à forma vegetativa, onde são destruídos no próximo ciclo de aquecimento.

Os inóculos das estirpes foram ajustados de acordo com o 0,5 da escala de *MacFarland* ($1,5 \times 10^8$ UFC/mL) aferidos em espectrofotômetro no comprimento de onda de 600 nm. Os controles estiveram sob as mesmas condições sem inóculo bacteriano.

Nos dois ensaios os frascos foram deixados estáticos e fechados em temperatura ambiente de 25 °C. O sistema estático, com os três tipos de tratamentos e com os dois tipos de frascos, está representado na figura 12. O primeiro ensaio foi observado após 15 dias, e o segundo ensaio após 15 e 320 dias. Os resultados esperados dizem respeito a percepção de mudança de coloração a olho nu.

Figura 12 - Visualização dos sistemas estáticos em tratamento.



Fonte: autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Valor de pH das Amostras de Argila

O pH da amostra de argila verde (estrutural), provenientes do rio Choró, utilizada principalmente para fabricação de painéis de barro foi aferido com 8,1. Já o pH da amostra de argila roxa, utilizada para confecção de jarros, potes e objetos de decoração que não vão ao fogo, retirada das várzeas do Rio Malcozinhado, foi de 5,1. O pH das argilas com pigmento, vermelho (rio Malcozinhado) e branca (Rio Choró), foi 5,8 e 6,5, respectivamente. Todos estes valores estão representados na tabela 2.

Tabela 2 - Valor de pH das amostras de argila coletadas para análise.

	<i>VERDE</i>	<i>ROXA</i>	<i>BRANCA</i>	<i>VERMELHA</i>
<i>pH</i>	8,1	5,1	6,5	5,8

Fonte: dados da pesquisa.

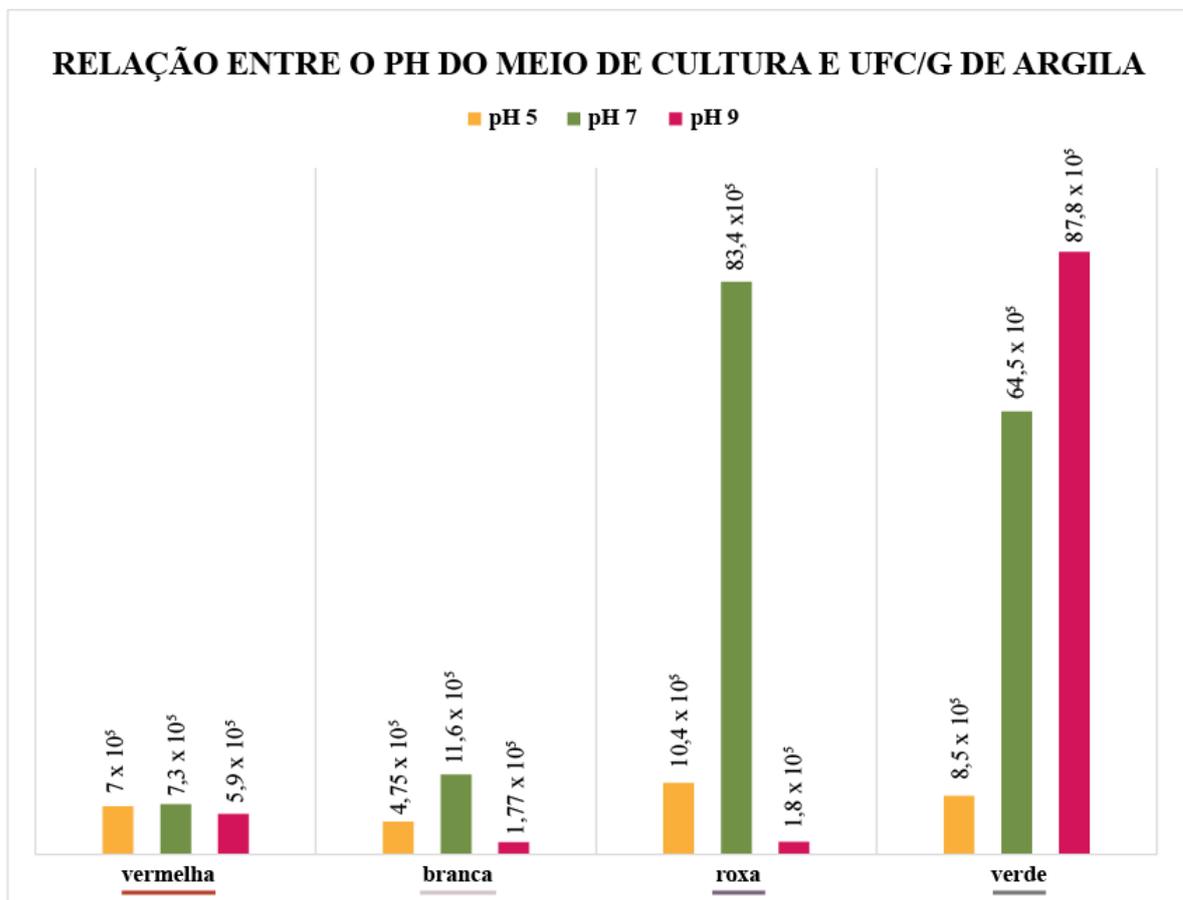
O aumento do pH diminui a solubilidade dos óxidos de ferro de baixa cristalinidade. A maioria dos solos tropicais apresentam óxidos de ferro em argilas. Estes podem apresentar cargas elétricas líquidas negativas ou positivas ou nulas, conforme os valores do pH do meio. Com valores de pH entre 1,5 e 3, a maioria dos íons metálicos permanecem em solução (PONNAMPERUMA, 1978).

Papp *et al.*, (2011) analisaram duas soluções pastosas compostas de água e caulim, uma recém misturada e uma incubada de forma estática por quatro meses. O pH do sobrenadante de caulim incubado (8.57) foi mais alcalino em comparação com a pasta recém misturada (7.24), se aproximando do pH neutro, como nessa pesquisa. Da mesma maneira, Shelobolina, Parfenova e Avakyan (1999), analisaram o pH das amostras de caulim, indicando neutralidade em seu sobrenadante (7,2-7,8). Além disto, observou-se nesta pesquisa que quando há o estímulo para o desenvolvimento de comunidades microbianas naturais em caulins, ocorre a produção de ácidos orgânicos e outros metabólitos, declínio no pH (6,8-7,2) e queda pronunciada do potencial redox; estes processos resultam na dissolução de minerais de ferro. Por fim, a pesquisa apontou que processos semelhantes podem ocorrer em condições naturais e resultam na dissolução e lixiviação do ferro, bem como na formação de novos minerais de ferro.

5.2 Contagem Padrão em Placas

A densidade populacional das bactérias da argila verde, foi de $8,5 \times 10^5$ UFC/g para ambiente com pH 5 (ácido), $64,5 \times 10^5$ para ambiente com pH 7 (neutro) e $87,8 \times 10^4$ para meio com pH 9. A densidade populacional das bactérias provenientes da argila roxa em meio de cultivo com pH 5 foi de $8,5 \times 10^5$ UFC/g, com pH 7 foi de $83,4 \times 10^4$ e com pH 9, $18,5 \times 10^4$. A densidade bacteriana analisada na argila vermelha em meio ácido foi de 7×10^5 , em meio neutro, 73×10^4 e em meio básico $59,5 \times 10^4$. Por último, na amostra de argila branca, a densidade populacional das bactérias em meio ácido (pH 5), neutro (pH 7) e básico (pH 9) foi de $47,5 \times 10^4$, $116,5 \times 10^4$ e 177×10^3 , respectivamente. Todos estes resultados podem ser observados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Unidade Formadora de colônias de Bactérias Heterotrófica Cultivável por grama de argila inoculados em meios de cultura com pH diferenciados.



Fonte: dados da pesquisa.

Na amostra de argila verde, a maior densidade de bactérias foi detectada nas alíquotas inoculadas no meio com pH básico, colaborando com o resultado aferido do ambiente *in*

natura. A partir das amostras de argila roxa, a maior carga bacteriana foi registrada em condições de pH neutro (pH 7). O pH dessa argila foi ácido, mas essa condição em meio de cultura não favoreceu o maior crescimento da microbiota. Nas argilas branca e vermelha o comportamento das bactérias nas amostras analisadas, indicam maior abundância em ambientes entre o ácido (pH 5) e o neutro (pH 7). Estes resultados foram responsáveis por guiar todo o experimento, pois a partir destes, todos os meios foram ajustados para pH 5,5, uma forma encontrada para simular o ambiente autóctone.

Na pesquisa de Shelobolina, Parfenova e Avakyan (1999), em todas as amostras de caulim, havia uma microbiota natural consistindo de (células/g): bactérias heterotróficas aeróbias (10^2 - 10^5), bactérias fermentativas (até 10^2), desnitrificantes (até 10^2), e redutoras de sulfato e ferro (até 10).

5.3 Isolamento

Foram isoladas 47 estirpes bacterianas. Destas, 18 foram isoladas da argila verde, 4 da argila roxa, 14 da argila branca e 11 da argila vermelha.

5.4 Análise Morfotintorial

Dos 47 isolados, 42 possuem forma de bastonetes, quatro formato de cocos, e uma estirpe possui formato filamentososo ou de formato irregular, de actinomiceto. Todos os isolados, informados na Tabela 3, possuem a parede celular caracterizada como Gram positiva, alguns dos quais foram esporulantes, semelhante a pesquisa de Crane e Holden (1999), que buscavam a lixiviação de sedimentos, em uma região portuária na Austrália, por bactérias estuarinas oxidantes de ferro. Nesta pesquisa 28 bactérias autotróficas consistiram em bastonetes Gram-positivos (algumas formadoras de esporos) que provaram ser superiores a *Thiobacillus ferrooxidans* (Gram-negativa), tanto em relação à lixiviação de sedimentos quanto à tolerância a NaCl (2%).

Tabela 3 – Caracterização morfotintorial das estirpes bacterianas isoladas de argilas usadas na produção de cerâmica na comunidade de Moita Redonda.

ARGILA/ ORIGEM	ESTIRPE	MEIO DE ORIGEM	pH	FORMATO	CARACTERÍSTICA DE PAREDE
BRANCA/ RIO CHORÓ	1	TSA	9	BASTONETES	G+
	2	T&K	2	BASTONETES	G+
	3	T&K	2	BASTONETES	G+
	4	T&K	2	BASTONETES	G+
	5	T&K	2	BASTONETES	G+
	6	TSA	7	BASTONETES	G+
	7	TSA	5	BASTONETES	G+
	8	TSA	5	BASTONETES	G+
	9	TSA + 0,5% SAC	5,5	BASTONETES	G+
	10	TSA + 0,5% SAC	5,5	BASTONETES	G+
	11	TSA + 0,5% SAC	5,5	BASTONETES	G+
	12	TSA + 0,5% SAC	5,5	BASTONETES	G+
	13	TSA + 0,5% SAC	5,5	BASTONETES	G+
	14	TSA + 0,5% SAC	5,5	BASTONETES	G+
ROXA/RIO MALCOZI- NHADO	15	T&K	2	BASTONETES	G+
	16	TSA	5	BASTONETES	G+
	17	TSA	7	BASTONETES	G+
	18	TSA	7	BASTONETES	G+
VERDE/RIO CHORÓ	19	TSA	9	COCOS	G+
	20	T&K	2	COCOS	G+
	21	TSA	5	BASTONETES	G+
	22	TSA	9	BASTONETES	G+
	23	TSA	7	BASTONETES	G+
	24	TSA	9	BASTONETES	G+
	25	TSA	5	BASTONETES	G+
	26	TSA	9	BASTONETES	G+
	27	T&K	2	BASTONETES	G+
	28	T&K	2	BASTONETES	G+
	29	T&K	2	BASTONETES	G+
	30	TSA	9	BASTONETES	G+
	31	TSA	7	BASTONETES	G+
	32	TSA	5	BASTONETES	G+
	33	TSA	7	BASTONETES	G+
	34	TSA	7	BASTONETES	G+
	35	TSA	9	BASTONETES	G+
	36	TSA	9	BASTONETES	G+
VERMELHA /RIO MALCOZI- NHADO	37	T&K	2	COCOS	G+
	38	T&K	2	COCOS	G+
	39	T&K	2	BASTONETES	G+
	40	T&K	2	BASTONETES	G+
	41	T&K	2	BASTONETES	G+
	42	TSA + 0,5% SAC	5,5	BASTONETES	G+
	43	TSA + 0,5% SAC	5,5	BASTONETES	G+
	44	TSA + 0,5% SAC	5,5	BASTONETES	G+
	45	TSA + 0,5% SAC	5,5	BASTONETES	G+
	46	TSA + 0,5% SAC	5,5	BASTONETES	G+
	47	TSA + 0,5% SAC	5,5	ACTINOMICETO	G+

Fonte: dados da pesquisa.

Também foram encontradas pesquisas com bactérias Gram-positivas que se mostram eficientes no processo de oxidação e redução de ferro, como os bastonetes dos gêneros *Bacillus* e *Sulfobacillus* (GUO *et al.*, 2010; SILVA, 2016; STYRIAKOVÁ; STYRIAK, 2000), os cocos da espécie *Staphylococcus gallinarum* (ABDEL-KHALEK *et al.*, 2014) e actinobactérias do gênero *Acidimicrobium* (JOHNSON E HALLBERG, 2003). Apesar destes exemplos, os microrganismos mais utilizados em pesquisas envolvendo os processos de biolixiviação de argilominerais são dos gêneros *Leptospirillum*, *Acidithiobacillus*, *Shewanella* e *Geobacter*. Todos estes são bastonetes Gram-negativos e encontrados em ambientes ácidos extremófilos e mesófilos (LOVLEY, HOLMES E NEVIN, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2010; ORTIZ, 2018; WANG *et al.*, 2009; ZEGEYE *et al.*, 2013).

Em 2018, Zhou *et al.*, (2018) identificaram uma nova bactéria formadora de endósporos que foi isolada de um solo de arroz em Jiangxi, na China. As células desta cepa eram Gram-positivas, em forma de bastonete, anaeróbias facultativas, catalase e oxidase positivas. A temperatura ótima de crescimento e o pH foram 30 °C (variando de 15 a 50 °C) e 6,5-7,0 (variando de 3 a 11), respectivamente. A análise da sequência do gene 16S rRNA mostrou que a cepa era afiliada ao gênero *Bacillus* e com base em dados fisiológicos, genéticos e bioquímicos, esta cepa representou uma nova espécie do gênero *Bacillus*, para a qual o nome *Bacillus ferrooxidans* sp. foi proposto.

5.5 Teste de Oxidação/Fermentação (O/F)

Onze estirpes foram classificadas como anaeróbias facultativas, pois testaram positivo para utilização da glicose tanto por via de oxidação, como por via de fermentação. Quatro estirpes utilizaram a glicose por via de oxidação, mas não utilizaram por fermentação. Estes resultados, apresentados na Tabela 4, mostraram-se essenciais para o entendimento do metabolismo das cepas e para construção de estratégias na pesquisa.

Tabela 4 - Resultados da determinação das vias metabólicas utilizadas para degradar carboidrato entre as estirpes bacterianas isoladas das argilas usadas na produção de cerâmica na comunidade de Moita Redonda.

ARGILA/ORIGEM	ESTIRPE	FERMENTADORA	OXIDADORA
BRANCA/RIO CHORÓ	1	-	+
	2	-	-
	3	-	-
	4	-	-
	5	-	-
	6	-	-
	7	-	-
	8	-	-
	9	-	-
	10	-	-
	11	-	-
	12	-	-
	13	-	-
	14	-	-
ROXA/RIO MALCOZINHADO	15	-	+
	16	-	-
	17	-	-
	18	-	-
VERDE/RIO CHORÓ	19	+	+
	20	+	+
	21	+	+
	22	+	+
	23	+	+
	24	+	+
	25	+	+
	26	-	+
	27	-	-
	28	-	-
	29	-	-
	30	-	-
	31	-	-
	32	-	-
33	-	-	
34	-	-	
35	-	-	
36	-	-	
VERMELHA/RIO MALCOZINHADO	37	+	+
	38	+	+
	39	-	+
	40	-	-
	41	-	-
	42	+	+
	43	+	+
	44	-	-
	45	-	-
	46	-	-
	47	-	-

Fonte: dados da pesquisa

5.6 Antagonismo

Foi realizado o teste de antagonismo direto, pela técnica de estrias cruzadas, em 13 das 15 estirpes que utilizaram a glicose por via de oxidação ou fermentação. Os resultados deste teste, representados na Tabela 5, foram responsáveis pela montagem dos consórcios bacterianos para os sistemas com bioaugmentação. Foi utilizado um consórcio com 3 estirpes (1, 25 e 37) no primeiro ensaio. O segundo ensaio foi realizado com um consórcio contendo 5 estirpes (20, 21, 22, 23 e 38).

Tabela 5 - Resultados do teste de antagonismo entre as estirpes bacterianas isoladas das argilas coletadas em Moita Redonda.

\	1	15	19	20	21	22	23	24	25	26	37	38	39
1		-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	+
15			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
19				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
20					-	-	-	+	-	+	-	-	+
21						-	-	-	-	+	-	-	+
22							-	+	-	+	+	-	+
23								+	+	+	-	-	+
24									+	+	+	-	+
25										+	-	-	+
26											-	+	+
37												-	+
38													+
39													

Fonte: dados da pesquisa.

5.7 Ensaio Estáticos

No primeiro ensaio foi possível observar a biodespigmentação pontual na coloração no sistema de método misto (bioaugmentação somado a bioestimulação) com argila não-estétil. Neste ensaio, apresentado na Figura 13, foi possível perceber a produção de gás na maioria dos frascos. O controle permaneceu sem modificações, o que revela que o processo de alteração da argila acontece por vias biológicas. Devido a eficiência ter sido pontual, optou-se por realizar outro ensaio mudando o dissacarídeo. A fonte energética mudou de maltose para sacarose no segundo ensaio. Um açúcar mais complexo, porém, mais próximo do açúcar alimentar, capaz de ser utilizado pela comunidade.

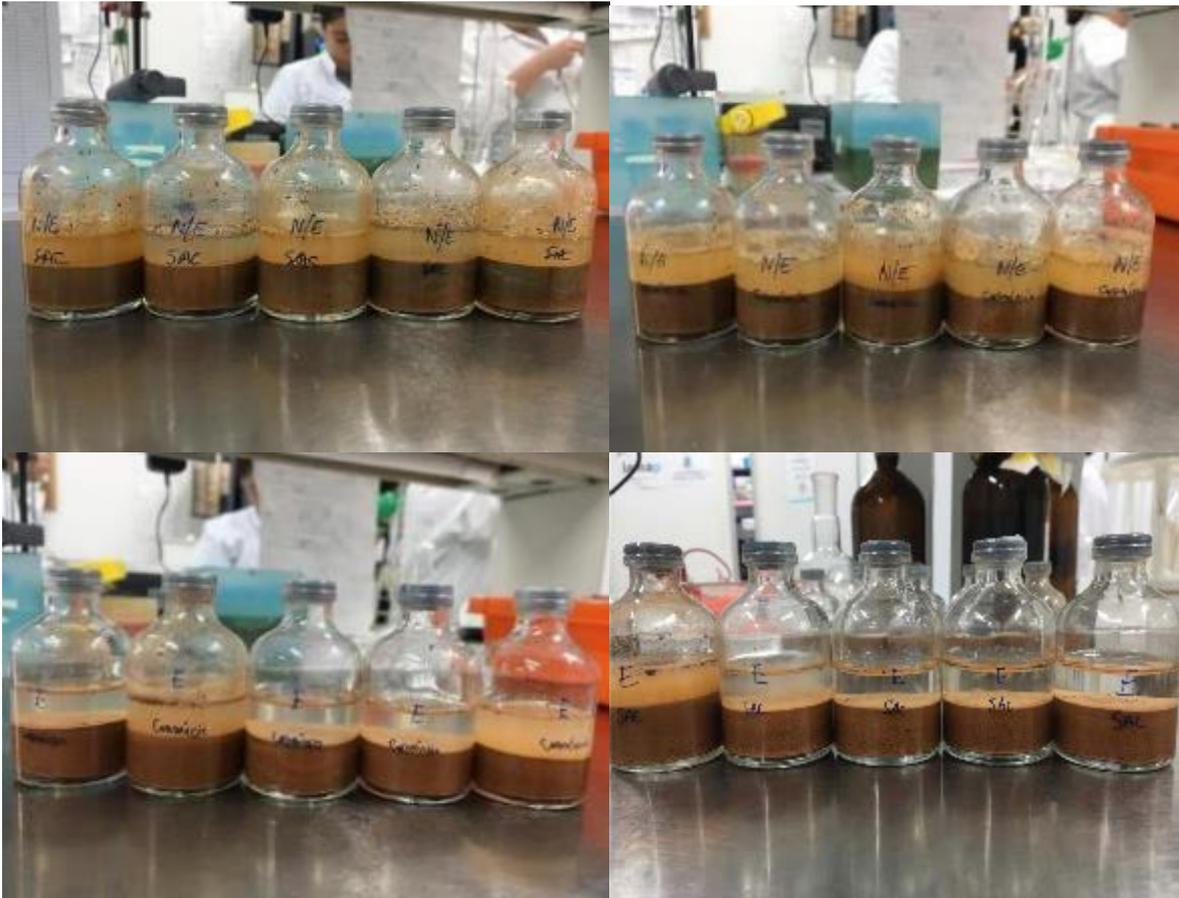
Figura 13 - Registros feitos durante o processo de biodespigmentação do primeiro ensaio após 15 dias.



Fonte: autor.

No segundo ensaio, após 15 dias, foi possível perceber a alteração da coloração em alguns frascos do sistema que possuía argilas não-estéreis onde foi utilizado o método de bioestimulação. Além disto, esteve evidente a produção de gás na superfície. O mesmo aconteceu na pesquisa de Silva (2002) e Santos (2003) em que foi observado a produção de gases ao longo do processo de beneficiamento oriundos, predominantemente, da formação do ácido butírico, seguidos por ácido isobutírico, ácido propiônico, ácido acético, ácido valérico, ácido isovalérico e ácido capróico. Esta produção de gases confirma a ocorrência de reações de oxidação em que houve a redução do ferro férrico, devido a doação de elétrons por meio da sacarose. Nas argilas não-esterilizadas, em que se utilizou a bioagumentação com a bioestimulação, foi possível perceber o escurecimento homogêneo na coloração junto com a solubilização do ferro na superfície nos cinco elementos do sistema. A Figura 14, a seguir, representa este ensaio sistêmico.

Figura 14 - Registros dos sistemas do segundo ensaio com consórcios após 15 dias.



Fonte: Autor, 2020.

Quando observado estes mesmos sistemas, após 320 dias, ficou mais evidente a modificação da coloração das argilas e a solubilização dos compostos férricos na superfície, como pode ser observado nas Figuras 15, 16, 17 e 18. Além disto, houve alteração na coloração nos dois sistemas estéreis, indicando que, mesmo com a carga microbiana reduzida, as bactérias, após este longo período, conseguiram modificar a coloração.

Figura 15 - Registros dos sistemas não-estéreis bioestimulados e bioagumentados, do segundo ensaio, após 320 dias.



Fonte: autor.

Figura 16 - Registros dos sistemas não-estéreis bioestimulados, do segundo ensaio, após 320 dias.



Fonte: autor.

Figura 17- Registros dos sistemas estéreis bioagumentados e bioestimulados, do segundo ensaio, após 320 dias.



Fonte: autor.

Figura 18 - Registros dos sistemas estéreis bioestimulados, do segundo ensaio, após 320 dias.



Fonte: autor.

Na Figura 19 está representado o processo para análise dos sistemas escuros. A maioria dos elementos destes sistemas se mostraram mais eficientes em relação a redução do pigmento vermelho produzido pelos óxidos de ferro quando comparado aos sistemas claros. A percepção de mudança de coloração a olho nu mais eficiente se deu no sistema escuro não estéril (NE cons – Sistema Escuro) em que foi usado o método misto de remediação (bioaumentação e bioagumentação), seguido pelo sistema escuro bioestimulado (NE sac – Sistema Escuro).

Figura 19 – Análise da mudança de coloração entre os sistemas do segundo ensaio.



Fonte: autor.

No trabalho de Guo *et al.*, (2010) também foi realizada a biolixiviação do ferro no caulim, usando bactérias heterótrofas, Gram-positivas, redutoras de Fe (III) com vários tipos de fontes carbono e fontes de nitrogênio. O teor máximo de ferro dissolvido, a 30 °C, foi de 3,2 mg Fe²⁺ / g caulim na presença de glicose, sacarose e açúcar alimentar (1 – 20%). Este último obteve destaque por ter sido eficiente e por ser uma fonte de carbono mais barata. O (NH₄)₂SO₄ foi a fonte de nitrogênio mais eficaz na pesquisa, pois aumentou a dissolução, atingiu 3,4 mg Fe²⁺ / g caulim, e reduziu o tempo de incubação (4-7 dias), devido ao nitrogênio e ao enxofre serem nutrientes essenciais para reprodução e síntese das enzimas, aumentando, assim, a atividade bacteriana. Por fim, neste estudo houve o aumento da branqueamento por biolixiviação de 61 a 82%, e após a queima a 1280 °C o processo se mostrou ainda mais eficiente, aumentando o alveamento do processo de 84 para 92%.

De modo semelhante, o processo desenvolvido por Silva (2002) foi de natureza biológica com agentes microbianos autóctones. Ele também se utilizou da soma dos mesmos métodos de biorremediação. No processo de otimização da bioestimulação, a concentração média de sacarose, ideal para a ativação do processo, foi de 4,5% (p/p), em relação à massa do argilomineral. A temperatura que promoveu um melhor desempenho dos agentes biológicos e uma maior eficiência do bioprocessamento foi de 30 °C, durante 11 dias. A remoção do ferro do material original foi significativa (40%) para percepção do beneficiamento do caulim natural.

Por último, na pesquisa de Peixoto, Oliveira e Sobral (2010) houve a biolixiviação de uma amostra de rejeito de carvão, com teor de ferro de 34,2 %. A pesquisa objetivou dissolver a pirita (FeS₂) presente na amostra, visando à produção de pigmento a base de óxidos de ferro. A estratégia utilizada se deu por meio da criação de um consórcio de microrganismos mesófilos e termófilos como forma de aceleração do processo de lixiviação. Nesta pesquisa o percentual de extração de ferro foi de 60,55% em 100 dias. O concentrado piritoso oxidado resultou em lixívias contendo elevadas concentrações de íons Fe²⁺ e Fe³⁺ que puderam ser utilizados na produção de pigmentos à base de óxidos de ferro.

6 CONCLUSÕES

Foi possível comprovar a solubilização de componentes com ferro contido na argila vermelha, por meio de bactérias heterótrofas autóctones, Gram-positivas, O/F positivas e não-antagônicas.

O método de bioagumentação somada a bioestimulação foi o processo de remediação mais eficiente e mais homogêneo no processo de solubilização do ferro contido na argila.

A não exposição a luz, em sistemas em frasco âmbar, se mostrou mais eficiente na modificação da coloração das amostras de argilas utilizadas pelos artesãos de Moita Redonda, quando comparado aos sistemas em frascos transparentes.

Os resultados conquistados neste estudo preliminar mostram que estas bactérias, redutoras de Fe (III), são microrganismos promissores para a remoção de impurezas de ferro das argilas, e se tornarão referência para determinação de outros componentes para a biodespigmentação de argilominerais contendo óxido de ferro, já que as enzimas e compostos produzidos por meio destas bactérias podem ser eficazes em processos biotecnológicos de remediação em pequena e grande escala.

Conclui-se também que este projeto converge academia e uma comunidade tradicional, proporciona a troca entre saberes e conhecimentos científicos e empíricos e colabora com o 11º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS), da agenda de 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), que pretende tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros e resilientes e sustentáveis, por meio de projetos de conservação que consideram a sociobiodiversidade.

A busca pela otimização do processo para implementação desta tecnologia social e ambiental contribuirá consideravelmente para o desenvolvimento comunitário, de modo a fortalecer as relações internas, a equidade social e a cidadania. Para isto sugere-se, como continuidade da pesquisa, pensar em estratégias para: i- intensificar os pigmentos contidos no toá vermelho, utilizando-se dos óxidos de ferro dissolvidos no processo de branqueamento; ii- utilizar as cinzas abundantes nos fornos da comunidade, produto da lenha utilizada na queima do barro, que são fontes de nitrogênio e fósforo, e podem ser utilizadas para otimizar/acelerar o processo; iii - testar o resultado após a queima, para análise da mudança de coloração; iv- pesquisar os outros possíveis produtores de pigmentos que compõem a amostra de argila pesquisada, para busca de outras estratégias de beneficiamento, já que a argila vermelha foi/é retirada do rio Malcozinhado e a argila branca foi/é retirada do rio Choró; v- propor caminhos sistêmicos para fazer a pesquisa ser tangível, eficaz, atrativa, com potencial de expansão a médio e longo prazo; vi- pesquisar por espaços e meios que possam contribuir para a sua incorporação social.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-KHALEK, N.A.; SELIM, K.A.; MOHAMMED, S.E.; EL-HENDAWY, H.H.; ELBAZ, R.M. Interaction Between Kaolinite and *Staphylococcus Gallinarum* Bacteria. **Journal of Mining World Express**, v. 3. p. 46-52. 2014.
- ABHILASH; PANDEY B. D. Microbial Extraction of Uranium from Ores. *In:* ABHILASH; PANDEY, B. D.; NATARAJAN, K. A (eds.). **Microbiology for Minerals, Metals, Materials and the Environment**, Taylor & Francis - CRC Press, Filadélfia, p. 59-98. 2015.
- ACOSTA, A. **O bem-viver: uma oportunidade para imaginar outros mundos**. São Paulo: Autonomia Literária/elefante, 2016. 264 p.
- AGRAWAL, A.; REDFORD, K. Poverty, Development, and Biodiversity Conservation: Shooting in the Dark? **WCS Working Papers**, n. 26, p. 1-58. 2006.
- ANDERSON, J.; RAINIE, L. **Histórias de especialistas sobre o impacto da vida digital**. Washington, DC: Pew internet research center, 2018. Disponível em: <http://www.pewinternet.org/2018/07/03/stories-from-experts-about-the-impact-of-digital-life>. Acesso em: 20 de junho de 2020.
- ANDRADE, P. P. Biodiversidade e conhecimentos tradicionais. **Revista Prismas: Direito, Políticas Públicas e Mundialização**, v. 3, n. 1, p. 03-32. 2006.
- ARAÚJO, S. M.; BRIDI, M. A.; MOTIM, B. L. **Sociologia: um olhar crítico**. São Paulo: Contexto, 2013. 256 p.
- AZEVEDO, C. M. A. **Bioprospeção: Coleta de Material Biológico com a finalidade de explorar os recursos genéticos**. Série Cadernos da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. 2. ed. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 2003. 35 p.
- BAMFORTH, S. M.; SINGLETON, I. Review Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons: current knowledge and future directions. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v.80, p. 723-736, 2005.
- BELAS, C. A. Cerâmica tradicional de Cascavel. Rio de Janeiro: Iphan/CNFCP, **Sala do Artista Popular**, v. 185, p. 8-33, 2016.
- BENGTSSON, M.; ALFREDSSON, E.; COHEN, M, L.; SCHROEDER, P. Transforming systems of consumption and production for achieving the sustainable development goals: Moving beyond efficiency. **Sustainability Science**, v. 13, p. 1533-1547. 2018.
- BENJAMIN, W. Questões introdutórias de crítica do conhecimento. *In:* BENJAMIN, W. **Origem do drama barroco alemão**. Trad. Sérgio Paulo Rouanet. São Paulo: Brasiliense, 1984. p 49-80.
- BEZERRA, R. G. **Hidrodinâmica do estuário do Rio Choró (Cascavel/Beberibe) litoral leste do estado do Ceará**. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 83f, 2006.

BOSECKER, K. Bioleaching: metal solubilization by microorganisms. *FEMS Microbiology Reviews*, v. 20, p. 591-604. 1997.

BUNGE, J.; WILLIS, A.; E WALSH, F. Estimating the number of species in microbial diversity studies. *Annual Review of Statistics and Its Application*, v. 1, p. 427-445. 2014.

CABRAL JUNIOR, M.; MOTTA, J. F. M.; ALMEIDA, A. S.; TANNO, L. C. Argila para Cerâmica Vermelha. *In: Rochas e Minerais Industriais*. Rio de Janeiro: Luz, A.B.; Lins, F.A.F. Cap. 33, 2008. p. 747-770.

CARDOSO, E.; TSAI, M.; NEVES, M. C. P. *Microbiologia do solo*. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1992. 360 p.

CASTELLS, M. O espaço de fluxos. *In: CASTELLS, M. A sociedade em rede*. 6. ed. São Paulo: Editora Paz e Terra; 1999. p. 467-521.

CASTRO JÚNIOR, E. de; COUTINHO, B. H.; FREITAS, L. E. de. Gestão da biodiversidade e áreas protegidas. *In: GUERRA, A. J. T.; COELHO, M. C. N. (Organizadores). Unidades de conservação: abordagens e características geográficas*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará- IPECE. **Perfil básico regional 2012**. Fortaleza: IPECE, 2012

CLARK, S.; STEEN-ADAMS, M.; PFIRMAN, S.; WALLACE, R. Professional development of interdisciplinary environmental scholars, *Journal of Environmental Studies and Sciences*, v.1 , n. 2, p. 99-113. 2011.

COSTA, B. P. Geografia e cotidiano: reflexões sobre teoria e prática de pesquisa. *In: HEIDRICH; Á. L.; PIRES, C. Z. (Orgs.). Abordagens e práticas da pesquisa qualitativa em geografia e saberes sobre espaço e cultura*. Porto Alegre: Letra1, 2016. p. 129-150.

CRANE, A. G.; HOLDEN, P. J. Leaching of harbour sediments by estuarine iron-oxidising bacteria. *In: Amils R.; Ballester A. (eds). Biohydrometallurgy and the environment toward the mining of the 21st century*, part A. Elsevier, Amsterdam, p. 347-356. 1999.

CRAVEN, D.; WINTER, M.; HOTZEL, K.; GAIKWAD, J.; EISENHAUER, N.; HOHMUTH, M.; KÖNIG-RIES, B.; WIRTH, C. Evolution of interdisciplinarity in biodiversity science. *Ecology and Evolution*, p. 6744-6755. 2019.

CRUNDWELL, F.K., How do bacteria interact with minerals? *Hydrometallurgy*, v. 71, p. 75–81. 2003.

CÚPULA DOS POVOS. **Documentos finais da Cúpula dos Povos na Rio + 20 por justiça social e ambiental**. Disponível em:

<http://riomais20sc.ufsc.br/files/2012/09/DOCUMENTOS-FINAIS-DA-CUPULA-DOS-POVOS-NA-RIO-20-POS-JUSTI%C3%87A-SOCIAL-E-AMBIENTAL.pdf>. Acesso em: 20 de junho de 2020.

DAGNINO, R. (Org.) **Tecnologia social: ferramenta para construir outra sociedade.** Campinas: UNICAMP, 2009. 95 p.

DANCE, A. Soil ecology: what lies beneath. **Nature**, London, v. 455, p. 724-725. 2008.

DOMINGUES, I. O intelectual público, a ética republicana e a fratura do ethos da ciência. **Revista Scientiae Studia**, v. 9, n. 3, p. 463-485. 2011.

ESCOBAR, A. **Designs for the pluriverse: Radical interdependence, autonomy, and the making of worlds.** Durham: Duke University Press, 2018. 312 p.

ESCOBAR, A. Whose Knowledge, Whose nature? Biodiversity, Conservation, and the Political Ecology of Social Movements. **Journal of Political Ecology**, v. 5, p. 53-82. 1998.

EVANS, G. M.; FURLONG, J. C. **Environmental Biotechnology: Theory and Application.** West Sussex: John Wiley & Sons Ltd. 2003.

FILHO, W. L.; RAATH, S.; LAZZARINI, B.; VARGAS, V.; SOUZA, L. D.; ANHOLON, R.; ORLOVIC, V. The role of transformation in learning and education for sustainability. **Journal of Cleaner Production**, 2018.

GARCIA JÚNIOR, O. Isolation and purification of *Thiobacillus ferrooxidans* and *Thiobacillus thiooxidans* from some coal and uranium mines of Brazil. **Revista de Microbiologia**, v. 22, n. 1, p. 1-6. 1991.

GARCIA JÚNIOR, O.; MUKAI, J.K.; C.B. ANDRADE. Growth of *Thiobacillus ferrooxidans* on solid medium: effects of some surface-active agents on colony formation. **Journal of General and Applied Microbiology**. Tokyo: Microbiol Res Foundation, v. 38, n. 3, p. 279-282. 1992.

GIDDENS, A. **Modernidade e identidade.** Tradução de Plínio Dentzien. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1991. 233 p.

_____. **As consequências da modernidade.** Tradução de Raul Fiker. São Paulo: Editora UNESP, 2002. 156 p.

GOMES, C. F. **Argilas: o que são e para que servem.** Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1988. 457 p.

GUIMARÃES, G. A. **Métodos de análise física, química e instrumental de solos.** Belém: IPEAN, 1970. 109 p.

GUO, M.; LIN, Y.; XU, X.; CHEN, Z. Bioleaching of iron from kaolin using Fe (III)-reducing bacteria with various carbon nitrogen sources. **Applied Clay Science**, v. 48, n. 3, p. 379-383. 2010.

HOSSEINI, S. M. R.; AHMADI, A. Biological beneficiation of kaolin: A review on iron removal. **Applied Clay Science**, v. 107, p. 238-245. 2015.

JOHNSON, D.; HALLBERG K.B.; JOHNSON D.B. Novel acidophiles isolated from moderately acidic mine drainage waters. **Hydrometallurgy**, v. 71, p. 139-148. 2003.

LATOURE, B. **Jamais fomos modernos**. Tradução de Carlos Irineu da Costa. Rio de Janeiro: Editora 34, 1994. 152 p.

_____. **Onde aterrar?** Como se orientar politicamente no Antropoceno. Rio de Janeiro: Bazar do Tempo. 2020. 160 p.

LOVLEY, D. R.; HOLMES, D. E.; NEVIN, K. P. Dissimilatory DE (III) and Mn (IV) reduction. **Advances in Microbial Physiology**, v. 49, p. 219-286. 2004.

MACFADDIN, J. F. **Pruebas Bioquímicas para la Identificación de Bacterias de Importancia Clínica**. 3 ed. Editorial Médica Panamericana, SA, Madrid, España, 850 p. 2003.

MARQUES, L. **Capitalismo e colapso ambiental**. Campinas: Editora da Unicamp, 2019. 736 p.

MARQUES, L. Decrescimento (III) - Colapso da biodiversidade. **Diálogos do Antropoceno**, Campinas, n. 12, p. 1-14. 2018.

MARTÍNEZ A. J. Merchandising Biodiversity. **Capitalismo, Natureza, Socialismo**, p. 37-54. 1996.

MATOS, S. M. S.; SANTOS, A. C. Modernidade e crise ambiental: das incertezas dos riscos à responsabilidade ética. **Trans/form/ação**, v. 41, n. 2, p. 197-216. 2018.

MEDEIROS, C. B.; MACHADO, L. C. R.; PEREIRA, L. C. A.; COSTA, C. A.; GÓMEZ, C. P. Inovação social e empreendedorismo social: uma análise sob a perspectiva da economia solidária. **GESTÃO.Org - Revista Eletrônica de Gestão Organizacional**, v. 15, n. 1, p. 61- 72, 2017.

MEDEIROS, M. F. Aspectos geológicos dos depósitos de argilas do Ceará. *In: Seminário Nacional de Mineração, Meio Ambiente e Qualidade De Vida*, Fortaleza: [s.n], 2003.

MENDES, I. C.; VIVALDI, L.A. Dinâmica da biomassa e atividade microbiana em uma área sob Mata de Galeria na região do Distrito Federal. 2001. *In: RIBEIRO, J. F.; FONSECA, C. L.; SOUZA-SILVA, J. C. Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria*". Planaltina, Embrapa Cerrados, 2001. p. 664-687.

MENDHAM, J.; DENNEY, R. C.; BARNES, J. D.; THOMAS, M. J. K. VOGEL **Análise química quantitativa**, 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2002. 462 p.

MENEZES, R. R.; SOUTO, P. M.; SANTANA, L. N. L.; NEVES, G. A.; KIMINAMI, R. H. G. A.; FERREIRA, H. C. Argilas bentoníticas de Cubati, Paraíba, Brasil: **Caracterização física-mineralógica**. *Cerâmica*, n. 55, p. 163-169. 2009.

MOHSENI, M.; HAMED N. H.; JAVAD H. J; ABOULGHASEM R. A. Screening of antibacterial producing actinomycetes from sediments of the Caspian Sea. **International Journal Molecular and Cellular Medicine Spring**, v. 2, n. 6, p. 64-71. 2013.

MORAES, C. A. **Representações sociais da comunidade científica brasileira sobre tecnologia social**. 196 p. Tese (Doutorado em Psicologia Social, do Trabalho e das Organizações) - Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2012.

MORAES, N.R.; CAMPOS, A.C.; MÜLLER, N.M.; GAMBA, F.B; GAMBA, M.F.D.D.F. As comunidades tradicionais e a discussão sobre o conceito de território. **Revista Espacios**. v. 38, n. 12, p.17. 2017.

MUÑOZ, J. A.; GONZÁLEZ, F.; BLÁZQUEZ, M. L.; BALLESTER, A. A study of the bioleaching of a Spanish uranium ore. Part I: A review of the bacterial leaching in the treatment of uranium ores. **Hydrometallurgy**, v. 38, n. 3, p. 9-57. 1995.

NIESENBAUM, R. The Integration of Conservation, Biodiversity, and Sustainability. **Sustainability**, v. 11, n. 4676, p. 1-12. 2019.

NUNES, R. R.; REZENDE, MARIA O. O. **Recurso Solo: Propriedades e usos**. 1. ed. São Carlos: Cubo Editora, 2015. 808 p.

OLIVEIRA, A. R. **O artesanato no âmbito da economia criativa: o caso da comunidade da Moita Redonda, Cascavel/CE**. 68 f. TCC (graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Fortaleza/CE, 2013.

OLIVEIRA, D. M.; SÉRVULO, E. F. C.; SOBRAL, L. G. S.; PEIXOTO, G. H. C. **Biolixiviação: utilização de microorganismos na extração de metais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 38 p.

OLIVEIRA, N. D. A.; SILVA, T. N. Inovação social e tecnologias sociais sustentáveis em relacionamentos intercooperativos: um estudo exploratório do CREDITAG-RO. **Revista de Administração**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 277-295. 2012.

ORTIZ, J. H. **Aplicações de bactérias redutoras de ferro**. 2018. 128 f. Tese em Microbiologia) - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

PAPP, I.; BALÁZS, M.; TOMBÁ CZ, E.; BABCSAN, N.; KESSERÚ, P.; KISS, I.; SZVETNIK, A. PCR-DGGE analysis of the bacterial composition of a kaolin slurry showing altered rheology. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v. 28. 2012.

PHAM, V. H. T.; KIM, J. Cultivation of unculturable soil bacteria. **Trends in Biotechnology**, v. 30, n. 9, p. 475-484, 2012.

PONNAMPERUMA, F.N. Chemical kinetics of wetland rice soils relative to soil fertility. In: INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. **Wetland soils: Characterization, classification, and utilization**. Los Baños, p.71-90, 1978.

PRADO, C. M. O. **Caracterização química e mineralógica das argilas utilizadas na produção de cerâmica vermelha no estado de Sergipe**. 62 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2011.

PURVIS, A.; HECTOR, A. Getting the measure of biodiversity. **Nature**, n. 405, p. 212-219. 2000.

RAFFESTIN, C. **Por uma geografia do poder**. São Paulo: Editora Ática; 1993. 169 p.

REDFORD, K.; RICHTER, B. Conservation of biodiversity in a world of use. **Conservation Biology**, v. 13, n. 6, p. 1246-1256, 1999.

ROCHA, M. C. V. **Microbiologia ambiental**. Curitiba: Intersaberes, 2020. 255 p.

SACK, R. **Human territoriality**. Cambridge: Cambridge University Press; 1986. 256 p.

SANGWAN S., DUKARE A. Microbe-Mediated Bioremediation: An Eco-friendly Sustainable Approach for Environmental Clean-Up. *In: ADHYA T.; LAL B.; MOHAPATRA B.; PAUL D.; DAS S. (eds). **Advances in Soil Microbiology**: Recent Trends and Future Prospects. Microorganisms for Sustainability, vol 3. Springer, Singapore, 2018. p.145-164.*

SANTOS, A. C. N. **A relação homem/natureza: a destruição da natureza na sociabilidade capitalista**. 2014. 133 f. Dissertação (Mestrado em Serviço Social) - Faculdade de Serviço Social, Programa de Pós-Graduação em Serviço Social, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014.

SANTOS, B. S.; MENESES, M. P. G.; NUNES, J. A. Introdução para ampliar o cânone da ciência: a diversidade epistemológica do mundo. *In: SANTOS, Boaventura de Sousa [org.] **Semear outras Soluções**: os caminhos da biodiversidade e dos conhecimentos rivais. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2010. p. 21-121.*

SANTOS, M. **A natureza do espaço**. São Paulo: Editora Hucitec, 1997. 190 p.

_____. O território: sobre espaço e poder, autonomia e desenvolvimento. *In: CASTRO, I. E.; GOMES, P. C.; CORRÊA, R. L. (Orgs.). **Geografia**: conceitos e temas, 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. p. 77-116.*

_____. **O espaço do cidadão**. 7. ed. São Paulo: EdUSP, 2007. 176 p.

_____. **Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal**. Rio de Janeiro: Record, 2000. 174 p.

SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. 2. ed. Edgard Blucher. 1989. 408 p.

SANTOS, R. C. **Comportamento do fertilizante biológico residual quelatizado em comparação ao EDTA, no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*)**. Universidade Estadual Paulista-FCA, Botucatu. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. 2000.

SAQUET, M. A. As diferentes abordagens do território e a apreensão do movimento e da (i)materialidade. **Geosul**, Florianópolis, v. 22, n. 43, p. 55-76, jan./jun. 2007.

SASAKI, M.; TSUNEKAWA, T.; OHTSUKA, H.; KONNO. The role of sulfur-oxidizing bacteria *Thiobacillus thiooxidans* in pyrite weathering. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 133, n. 3, p. 269-278. 1998.

SHARMA, H. D.; REDDY, K. R. **Geoenvironmental engineering: site remediation, waste containment, and emerging waste management technologies**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004. 968 p.

SHELOBOLINA, E. S.; PARFENOVA, E. Y.; E AVAKYAN, Z. A. Microorganisms of kaolins and their role in the processes of iron solubilization and transformation. **Biohydrometallurgy and the Environment Toward the Mining of the 21st Century**, Elsevier, Amsterdam, p. 559-568. 1999.

SHIVA, V. **Biopirataria - A pilhagem da natureza e do conhecimento**. Petrópolis: Vozes, 2001. 149 p.

SILVA, A.T.R. A conservação da biodiversidade entre os saberes da tradição e a ciência. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 83, p. 233-259. 2015.

SILVA, S. R. **Bio-oxidação de sulfetos de arsênio e antimônio por *Sulfobacillus thermosulfidooxidans***. 2016. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

SILVA, S. M. **Atividade microbiana nas transformações dos óxidos de ferro para o branqueamento de minerais de argila**. 2002. 76 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 2002.

SOJA E. **Geografias pós-modernas**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor; 1993. 323 p.

SOUZA, M. L. **Os conceitos fundamentais da pesquisa sócio-espacial**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. 320 p.

STOCKWELL, V. O.; JOHNSON, K .B.; LOPER, J. E. Compatibility of bacterial antagonists of *Erwinia amylovora* wit antibiotics used to control fire bright. **Phytopathology**, v. 86, p. 834-840. 1996.

STÜRMER, A. B.; COSTA, B. P. Território: aproximações a um conceito-chave da geografia. **Geografia Ensino & Pesquisa**, p. 50-60. 2017.

STYRIAKOVÁ, I. E STYRIAK, I. **Iron removal from kaolins by bacterial leaching**. **Ceramics - Silikaty**, v. 44, p. 135-141. 2000.

TANNER K.; VILANOVA C.; PORCAR M. Bioprospecting challenges in unusual environments. **Microbial Biotechnology**. n. 4, p. 671-673. 2017.

TEIXEIRA, S.R.; SOUZA, S.A.; MOURA, C.A.I. Mineralogical characterization of clays used in the structural ceramic industry in west of S.Paulo State, Brazil. **Cerâmica**, 47, p. 204-207. 2001.

ORTORA, G.J.; FUNKE, B.R.; CASE, C.L. **Microbiologia**. 10. ed. Porto Alegre: ARTMED, 2012. 934 p.

TUOVINEN, O. H.; KELLY, D. P. Studies on the growth of *Thiobacillus ferrooxidans* - Use of membrane filters and ferrous iron agar to determine viable number and comparison CO₂ fixation and iron oxidation as measures of growth. **Archives of Microbiology**, v. 88, p. 285-298. 1973.

TYBUSCH, F. B. A. **Biodiversidade, Tecnologia e Sociedade**: O Direito à informação ambiental sustentável como possibilidade emancipatória na proteção dos conhecimentos tradicionais. 126 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

UDDIN, F. Clays, Nanoclays and Montmorillonite Minerals. **Metallurgical and materials transactions A**, n. 39A, p. 2804-2814, 2008.

UNESCO. **O futuro que queremos**. 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/O-Futuro-que-queremos1.pdf>. Acesso em: 20 de junho de 2020.

VIANA, A. P. Q. **Design social e biotecnologia ambiental**: pesquisa para inovações sociais em Moita Redonda, uma comunidade artesã do Ceará. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Design) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

VIDAL, F.W. H.; SALES, F. A. C. B.; ROBERTO, F. A. C.; SOUSA, J. F.; MATTOS, I. C. **Rochas e Minerais Industriais do Estado do Ceará**. 1. Ed. Fortaleza: CETEM/UECE/DNPM/FUNCAP/SENAI, 2005. 174 p.

VOULVOULIS, N.; BURGMAN M. The contrasting roles of science and technology in environmental challenges. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 49, n. 12, p. 1079-1106, 2019.

WALS A.E.; BRODY M.; DILLON J.; STEVENSON R.B. Science education. Convergence between science and environmental education. **Science**, v. 344, ed. 6184, 2014.

WANG, J.; BAI, J.; XU, J.; LIANG, B. Bioleaching of metals from printed wire boards by *Acidithiobacillus ferrooxidans* and *Acidithiobacillus thiooxidans* and their mixture. **Journal of Hazardous Materials**, v. 172, p. 1100-1105. 2009.

WCED (World Commission on Environment and Development). **Our Common Future**. New York, Oxford University Press, 1987.

WEISS, M. C.; SOUSA, F. L.; MRNJAVAC, N.; ROETTGER, M.; NELSON-SATHI, S.; MARTIN, W. F. The physiology and habitat of the last universal common ancestor. **Nature Microbiology**, v. 1, n. 16116. 2016.

ZEGEYE, A.; YAHAYA, S.; FIALIPS, C.I.; WHITE, M.L.; GRAY, N.D.; MANNING, D.A.C. Refinement of industrial kaolin by microbial removal of iron-bearing impurities. **Applied Clay Science**, v. 86, p. 47-53. 2013.

ZHOU, G.; YANG, X.; SU, J. *Bacillus ferrooxidans* sp. nov., an iron(II)-oxidizing bacterium isolated from paddy soil. **The Journal of Microbiology**, v. 56, n. 7, p. 472-477. 2018.