

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

CIANOACTÉRIAS COMO ELEMENTO AGREGADOR DE SOLOS NOS
AREAS NO SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL

Carla Lisiane Webber

Porto Alegre
Dezembro / 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

Carla Lisiane Webber

CIANOACTÉRIAS COMO ELEMENTO AGREGADOR DE SOLOS NOS
AREAS NO SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado como requisito parcial para a
obtenção do título de bacharel em Geografia,
departamento de Geografia da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer

Coorientadora: Dra. Vera Regina Werner

Comissão examinadora.

Dra. Mariéllen Dornelles Martins

Prof. Dr. Roberto Verdum

Porto Alegre
Dezembro / 2014

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar luz e força para cumprir mais essa jornada. A minha família, minha base, pela compreensão e suporte nos momentos necessários. Aos meus amigos que são a família que escolhi para compartilhar os momentos bons e ruins dessa vida e que me dão todo o apoio para que eu nunca me acovarde diante das dificuldades.

Ao meu orientador, professor Dr. Ulisses Franz Bremer - UFRGS, pela sua orientação, paciência infinita e muita confiança depositada, pois, sem esta não haveria terminado essa etapa de trabalho. Muito Obrigada.

À minha Coorientadora, Dra. Vera Regina Werner – Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica - MCN-FZBRS, que me acolheu de braços abertos. Por sua orientação, confiança, paciência, compreensão e pela sua capacidade especial de saber transmitir conhecimento. Além da amizade e bons momentos de risadas com café e doces deliciosos, que foram fundamentais para que este trabalho se finalizasse. Meu muito Obrigado.

À Fundação Zoobotânica e aos colegas do laboratório de Ficologia MCN-FZBRS, pelo suporte para com o trabalho, pela confiança e carinho e pelas amizades com boas risadas e trabalho árduo, onde cresci muito como pesquisadora. Aos profissionais Manoel Nunes e Nilson Bitencurt pelo apoio técnico na confecção de materiais.

À Grande Família do laboratório de Palinologia Marleni Marques Toigo do Instituto de Geociências da UFRGS, o qual me acolheu, em muitos momentos, durante esta caminhada, com muito carinho. Ao meu ex-orientador Paulo Alves de Souza, pelo aprendizado, auxílio, carinho e pela oportunidade de fazer parte de minha jornada. Aos grandes amigos que fiz na sala 203 que foram essenciais em todos os momentos. Em especial, meu muito obrigada ao amigo Wagner Guimarães que sempre esteve ali a cada passo para auxiliar, corrigir ou me fazer refletir em cada passo.

Ao professor Roberto Verdum e toda a equipe do grupo de pesquisa Arenização/desertificação do RS, que me auxiliaram brilhantemente na coleta das amostras e me acolheram em seu campo.

À pesquisadora Dra. Mariéllen Dornelles Martins pela dedicação e por estar sempre disponível para me auxiliar em todas as minhas dúvidas de taxonomia. Ao professor Dr. Luis Henrique Zanini Branco que, mesmo não me conhecendo pessoalmente, sempre se mostrou solícito me ajudando nessa jornada que foi de conhecer as Crostas Biológicas no Brasil.

À amiga Aline, por todo o suporte com o Arcgis e a todos os amigos e companheiros de jornada não citados nominalmente, mas que contribuíram de uma forma ou outra e foram importantes em minha vida acadêmica, profissional e pessoal.

EPÍGRAFE

“Que é um geógrafo? perguntou o príncipezinho. É um sábio que sabe onde se encontram os mares, os rios, as cidades, as montanhas e os desertos.

É bem interessante, disse o príncipezinho. Eis, afinal, uma verdadeira profissão!

As geografias, disse o geógrafo, são os livros de mais valor. Nunca ficam fora de moda. É muito raro que um monte troque de lugar. É muito raro um oceano esvaziar-se. Nós escrevemos coisas eternas.”

Antoine de Saint-Exupéry – O pequeno Príncipe.

RESUMO

Cianobactérias são um importante componente de cobertura dos solos, quando associadas a partículas de solo: algas, micro fungos, líquens e musgos (briófitas) nos primeiros milímetros formam Crostas Biológicas de Solos (CBS). Estas crostas podem ser encontradas em várias latitudes do planeta, desde os pólos até os desertos. Devido à restrição de vegetação nos ambientes áridos e semiáridos, por causa dos baixos índices pluviométricos, a maior parte dos estudos desta associação ocorre nesses ambientes. No Sudoeste do Rio Grande do Sul, ocorre um fenômeno natural denominado arenização. Este fenômeno deixa a aparência das áreas semelhantes a desertos e encontramos nessa área de ocorrência as CBS. As cianobactérias edáficas agem como agentes agregadores de partículas de solo, devido ao formato de suas bainhas e mucilaginosas que potencializam a fixação de partículas estabilizando o solo e reduzindo o poder de erosão por vento e água. O presente estudo propõe-se em investigar as espécies de cianobactérias subaéreas presentes em areais no Rio Grande do Sul, visando compreender a diversidade destes organismos e traçar o perfil dos táxons nas crostas biológicas encontradas nesse ecossistema. O trabalho vem sendo realizado nos municípios de Alegrete e São Francisco de Assis. As amostras foram coletadas em maio de 2014 em três locais, sendo duas por sítio. O sítio de Alegrete se encontra sobre um areal recoberto por plantio de eucalipto (29°42'35.48"S e 55°25'13.47"W). Os sítios de São Francisco de Assis se encontram em areais que sofrem processos de ravinamento, um sem interferência humana (29°30'54.98"S e 55° 7'23.07"W) e o outro em ravina estabilizada artificialmente (29°23'58.85"S e 55°13'37.60"W). O material foi coletado com placa de Petri invertida para garantir uma profundidade máxima de 2 cm e o mesmo volume para todas as amostras. As amostras foram mantidas vivas sob refrigeração. O material foi analisado com estereoscópio e microscópio óptico (400-1.000x). A partir da análise de seis amostras foram identificados 11 táxons de cianobactérias, destacando-se espécies filamentosas, incluindo 81,8% dos táxons registrados. Desta forma o estudo compreende uma análise exploratória de táxons de cianobactérias existentes em sítios no sudoeste do Rio Grande do Sul, através de levantamento florístico, e do comportamento geocológico, a fim de iniciar estudos sobre as CBS no Rio Grande do Sul, Brasil.

Palavras Chaves: areais, arenização, biodiversidade, cianoprocariontes, crostas biológicas de solos, organismos iniciais.

ABSTRACT

Cyanobacteria are important soil cover components, when attached to soil particles: algae, micro fungi, lichens and mosses (bryophytes) in the first millimeters of Biological Soil Crusts (BSC). These crusts can be found at various latitudes of the planet, from the poles to the deserts. Due to the restricted vegetation in arid and semi-arid environments because of low rainfall levels, most of the studies of this association occurs in these environments. In the southwest of Rio Grande do Sul, it takes place a natural phenomenon called arenization. This phenomenon makes these areas look like deserts and there the BSC were find. The soil cyanobacteria edaphic act as aggregator agents of soil particles, due to the format of their sheaths and mucilage that enhance the attachment of particles, stabilizing the soil and reducing the power of erosion by wind and water. This study purposes the investigation of species of subaerial cyanobacteria present in sands in Rio Grande do Sul, aiming to understand these organisms diversity and trace the profile of taxa in biological crusts found in this ecosystem. The work is being carried in the municipalities of Alegrete and São Francisco de Assis. The samples were collected in May 2014 at three sites, two per site. The Alegrete site is on the sands covered with eucalyptus plantation (29 ° 42'35.48 "S and 55 ° 25'13.47" W). The São Francisco de Assis sites are in sand suffering gully processes, one without human interference (29 ° 30'54.98 "S and 55 ° 7'23.07" W) and the other in artificially stabilized ravine (29 ° 23'58.85 "S and 55 ° 13'37.60" W). the material was collected with plate Petri inverted to ensure a maximum depth of 2 cm and the same volume for all samples. The samples were kept alive under refrigeration. The material was analyzed with an optical microscope and stereomicroscope (400-1.000x). From six samples analyzed, 11 taxa of cyanobacteria were identified, especially filamentous species, including 81.8% of registered taxa. This study comprises an exploratory analysis of taxa of cyanobacteria in existing sites in southwestern Rio Grande do Sul, by taxonomic analysis and environmental behavior in order to initiate studies on CBS in Rio Grande do Sul, Brazil.

Keywords: sand, sandization, biodiversity, cyanobacterias, biological soil crusts, inicial organisms.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Bloco esquemático em diagrama, de uma crosta de solo com CBS e seus agentes típicos. Espessura da camada é de cerca de 3 mm (Belnap, *et al.*, 2003).....6
- Figura 2. Site experimental de CBS com crostas transplantadas, durante período úmido. Projeto ecologia de Crostas - Australian National Botanic Gardens e Australian National Herbarium, Canberra. Australia. Fonte: <http://www.anbg.gov.au>.....8
- Figura 3. Site experimental de CBS com crostas transplantadas, durante período seco. Projeto ecologia de Crostas - Australian National Botanic Gardens e Australian National Herbarium, Canberra. Australia. Fonte: <http://www.anbg.gov.au>.....8
- Figura 4. Legenda de morfotipos predominantes por crosta, do site experimental de CBS. Os pontos amarelos indicam crostas de líquens, os pontos azuis mostram crostas com predominância de musgos e o ponto vermelho, crostas hepáticas. Projeto ecologia de Crostas – Australian.9
- Figura 5. Exemplos de quatro tipos morfológicos de BSC, de acordo com a evapotranspiração potencial (Fonte: ROSENRETER *et al.*, 2007).10
- Figura 6. Distribuição das crostas biológicas de solo (CBS) no Planeta. (Adaptado de BELNAP, *et al.*, 2003).11
- Figura 7. Estromatólitos vivos em Hamelin Pool, Shark Bay, Noroeste do estado de Western Austrália, em formato de colunas. Estima-se sua idade entre 3 e 4 mil anos. Fonte: <http://www.ipaq.org.br/vb/showthread.php?91261-Estromat%F3lito>.12
- Figura 8. Tipos de divisão celular nas cianobactérias unicelulares e coloniais, adaptados conforme apresentados por Komárek & Anagnostidis (1998). Fonte: Werner (2002).17
- Figura 9. Exemplo de hormogônio de *Nostocales* sp. amostra de cultivo (Foto cedida por Mariéllen Martins).....17
- Figura 10. Filamento de *Porphyrosiphon* com tricoma envolto por bainha lamelada. Fonte: <http://cfb.unh.edu/> <http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Cyanobacteria>.19
- Figura 11. Tricomas de *Microcoleus* sp. envoltos por uma bainha mucilaginosa espessa..Fonte: (<http://galerie.sinicearasy.cz/galerie>).....19
- Figura 12. Filamentos de cianobactérias heterocitadas. a) Formados por células vegetativas e heterocito (seta). b) Formados por células vegetativas, acineto (seta) e heterocito. (Fonte: <http://mundociano.blogspot.com.br>).19

Figura 13 a) Ramificação verdadeira em capsosira; b) Ramificação falsa em Scytonema. (Fonte: http://galerie.sinicearasy.cz/galerie).....	20
Figura 14 Esquema ilustrado de vários processos utilizados pela taxonomia polifásica durante a identificação, classificação e a novas descrições de cianobactérias (Fonte: Gama, 2012)....	21
Figura 15 Mapa de localização da área de estudo.	24
Figura 16 Croqui representativo da tipologia dos areais. a) areais em rampa e b) areais em colinas.....	26
Figura 17 Localização dos campos no Sul do Brasil: (a) visão geral da América do Sul (b) o Brasil e a classificação oficial dos Biomas brasileiros, segundo o IBGE (2004) e (c) distribuição dos campos na região sul do Brasil. (OVERBECK, 2009).	28
Figura 18 Mapa de localização das mesorregiões e unidades ecológicas do Rio da Prata que compõem os campos e o pampa. Modificado de Macedo (2011).	28
Figura 19 Abrangência do Bioma Pampa. Fonte: Suertegaray & Silva (2009).	29
Figura 20 a) Local de coleta no areal Deserto de São João, Alegrete – RS. b) Amostra coletada em Placa de Petri (vista equatorial).....	30
Figura 21 Amostras coletadas. Da esquerda para direita: Areal Deserto de São João (Alegrete), Areal Morro da Esquina (São Francisco de Assis), Areal Dona Irene (São Francisco de Assis).....	31
Figura 22 Equipamentos utilizados para separação do material e análise: lupa estereoscópica (à esquerda) e microscópio óptico binocular (à direita).	32
Figura 23 a) Amostra coletada com manchas verdes escuras de <i>Stigonema</i> sp. Areal Cerro da Esquina b) Amostra com predominância de manchas pretas e líquens do Areal Dona Irene. c) Cianobactérias <i>Stigonema</i> sp agregadas a partículas de solos. d) <i>Microcoleus</i> sp. agregados a partículas de solos.....	34
Figura 24 a) <i>Aphanotece</i> sp.; b) <i>Schizothrix</i> sp.; c) <i>Phorphyrosiphon notarisii</i> ; d) <i>Symplocastrum</i> sp.; e) <i>Lyngbya</i> sp.; f) <i>Microcoleus</i> sp.; g) <i>Gloeothece</i> sp.; h) <i>Scytonema</i> sp.; i) <i>Calothrix</i> sp.; j) <i>Stigonema</i> sp.; k) parte de uma <i>Stigonema</i> sp.; l) <i>Hapalosiphon</i> sp. Fotos com aumento de 40 e 100 vezes.	35
Figura 25 a) Forma de ocorrência das CBS no areal Deserto de São João, Alegrete- RS. b). Forma de ocorrência das CBS no areal Deserto de São João, Alegrete – RS, no topo de pedestais, “demoseilles”, onde, aparentemente, auxiliam na resistência desses pedestais. . c) Forma de ocorrência das CBS no areal Dona Irene, no topo de pedestais, formando uma cobertura pinacular na vertente sul da ravina. d) Forma de ocorrência da CBS no areal Cerro da Esquina na vertente formando uma cobertura mais suave e incipiente de crostas.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estudos conhecidos de florística e taxonomia de cianobactérias Edáficas (de solos) no mundo, adaptado conforme Whitton & Potts (2000).	15
Tabela 2. Sinótese de resultados obtidos	33

SUMÁRIO

Agradecimentos	ii
Epígrafe	iv
Resumo	v
Abstract	vi
lista de figuras	vii
lista de tabelas	ix
sumário	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2. OBJETIVOS	4
2. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL	5
2.1. Crostas Biológicas de Solo – CBS	5
2.1.1. Morfologia das Crostas Biológicas de Solo – CBS.....	7
2.2. Cianobactérias	12
2.2.1. Cianobactérias Edáficas.....	13
2.2.2. Caracterização das Cianobactérias	16
2.2.2.1. Tipos de Reprodução	16
2.2.2.2. Tipo e estrutura dos talos.....	18
2.2.2.3. Tipos de ramificações e estruturas.....	20
2.2.3. Taxonomia das Cianobactérias	20
3. Crostas biológicas de solos nos areais da Campanha Gaúcha	23
3.1. A área de estudo	23
3.2 Caracterizações da Área de Estudo	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. Cianobactérias Identificadas	33
5.2. Locais de ocorrência das crostas biológicas de solos nos areais	36
6. Conclusões	38
7. Referências	39

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As cianobactérias são organismos procariontes fotossintéticos que possuem a capacidade de sintetizar clorofila *a*, *b* e *d*. Durante o processo de fotossíntese o principal agente doador de elétrons é a água, o que conduz a evolução ao oxigênio. Algumas cianobactérias são capazes de fixar o nitrogênio atmosférico.

Estudos vêm sendo realizados sobre comunidades de cianobactérias no Brasil, porém quase tudo que se sabe sobre esses organismos se refere a sua existência em ambiente aquático. As cianobactérias igualmente ocorrem sobre rochas e nos primeiros centímetros do solo, contudo no Brasil são pouco estudadas. Quando isto ocorre se refere à biofertilização em campos de arroz.

Novas reflexões sobre a compreensão das Crostas Biológicas de Solo - CBS relatam a interação entre microrganismos e solo, estes como organismos pioneiros podem formar crostas de proteção (BOOTH, 1941; WEBER *et al.*, 2008) especialmente em ecossistemas degradados (VESTE, 2005). Assim, os estudos se expandiram em direção à taxonomia (JEFFREY, 1985; WHITTON & POTTS, 2000), papel funcional das associações com o ambiente (BÜDEL, 2001; BELNAP *et al.*, 2003), papel ecológico (BOWKER, 2010) e, mais recentemente, criação de áreas de preservação ambiental internacionais para o estudo destas comunidades em ambientes desérticos, como em Utah, Estados Unidos da América (BELNAP, 1995) ou como área de estudo de preservação de biodiversidade de espécies de crostas para a sua preservação. – “Soil Crust Internacional Project –SCIN” na Europa (BÜDEL *et al.*, 2014).

Apesar da quantidade elevada de dados existentes de diversas áreas do mundo, especialmente as áreas desertas, muito pouco se sabe sobre as crostas existentes no Brasil. Estima-se que exista a possibilidade de ocorrência das CBS em três biomas: Caatinga, no Nordeste; Cerrado, no Centro-Oeste e Pampa, no Sul (Rio Grande do Sul) do Brasil.

A paleontologia nos mostra que as cianobactérias são os organismos mais antigos do planeta, surgiram a cerca de 550 milhões de anos no Período Proterozóico, e vêm se adaptando até os dias atuais. O sucesso da adaptação das cianobactérias em ampla variedade de espécies e habitats nos mostra o quão intrigantes são esses organismos que habitam desde os picos congelados das montanhas até o interior dos grandes desertos.

Esses organismos possuem características fisiológicas peculiares como: tolerância a altas temperaturas, à alta radiação solar, à dessecação, a altas concentrações de ácidos sulfídricos, utilizam baixas concentrações de luz e oxigênio e fixam o nitrogênio atmosférico.

Dentre os papéis desempenhados pelas cianobactérias, Belnap *et al.* (2003) ressaltam a sua importância ecológica como espécies pioneiras em colonização de solos, o que auxilia na proteção contra a erosão pelos agentes água e vento, devido a sua interferência na agregação das partículas, ampliando sua capacidade de estabilidade; a decomposição de silicatos por esses organismos que têm a capacidade de gerar alguns tipos de solos; e a fertilização de solos pela capacidade de algumas espécies fixarem nitrogênio atmosférico.

Deste modo, superfícies desprovidas de vegetação podem ser rapidamente colonizadas por cianobactérias, que estabilizam o solo devido à organização desses organismos, tanto unicelulares como tanto filamentosos unicelulares como filamentosos mucilaginosos (BELNAP *et al.*, 2003). Frequentemente estes organismos associados a solos inconsolidados, recobrem os primeiros milímetros formando crostas e são os principais componentes das crostas biológicas de solo (CBS).

As CBS desempenham um papel funcional relevante, auxiliando na formação de solo, modificando as capacidades de infiltração da água na superfície e aumentando os percentuais de ciclagem de nutrientes, melhorando a estabilidade do solo e, deste modo, auxiliando na prevenção da erosão pelo vento ou água (ELDRIDGE & GREENE, 1994; BELNAP *et al.*, 2003; VESTE, 2005).

CBS são encontradas em todas as latitudes e em diferentes tipos de solos (BELNAP *et al.*, 2003). Atualmente, a importância dessas comunidades é amplamente reconhecida por seu papel ecológico e por contribuir absorvendo carbono e fixando nitrogênio da atmosfera. (BELNAP *et al.*, 2003). As CBS possuem, como ponto fundamental, a presença das cianobactérias que se destacam em relação à frequência de ocorrência e tipo de espécie que pode apresentar um comportamento de fixação de nutriente mais eficiente ou acelerar o processo de formação de solo (WHITTON & POTTS, 2000).

Os comportamentos das coberturas vegetais do planeta, interligadas às formas de uso e ocupação do solo pelo homem, faz nos depararmos com inúmeras gêneses de processos erosivos. Entre os processos erosivos mais expressivos encontram-se os por ventos e a água, que possuem uma enorme capacidade de desprender partículas de solos e transportá-las. Assim, as vegetações são um dos principais fatores que controlam os mecanismos de erosão, porque o solo coberto possui sua resistência ampliada contra esse transporte de partículas.

A área escolhida - os areais no Sudoeste do Rio Grande do Sul - se fez relevante por apresentar de forma clara e didática tais processos e já apresentar a configuração das crostas biológicas em áreas de distúrbios pelo efeito negativo do pastoreio do gado e cultivos.

Segundo, (SUERTEGARAY,1988; VERDUM,1997; SUERTEGARAY *et al.*,2001, GUASSELLI *et al.*,2009) a formação dos areais no sudoeste do Rio Grande do Sul, interpretada a partir estudos geomorfológicos, associada à dinâmica hídrica e eólica, o que indica que os areais resultam, inicialmente, de processos hídricos. Estes relacionados com uma topografia favorável permitem, numa primeira fase, a formação de ravinas e voçorocas. Em seguida por erosão lateral e regressiva, ampliam-se conseqüentemente alargando suas bordas. Através desta dinâmica, conclui-se que inicialmente os areais resultam de processos hídricos superficiais que provocam em particular escoamentos concentrados formando ravinas e voçorocas. Essas transportam e ampliam as áreas descobertas gerando novos areais, que em contato com o vento sofrem contínua remoção.

Para Suertegaray (1987), na região Sudoeste do Rio Grande do Sul ocorre um processo de erosão do solo, que denominou de Arenização. Por Arenização compreende-se “um processo de retrabalhamento de depósitos arenosos pouco ou não consolidados, que acarreta nessas áreas uma dificuldade de fixação de cobertura vegetal, devido à intensa mobilidade dos sedimentos pela ação da água e dos ventos”.

Conseqüentemente, esse retrabalhamento de depósitos arenosos, devido à constante mobilidade dos sedimentos promove um problema de fixação da vegetação. Tal uso, associado a uma dinâmica hídrica e eólica e solos frágeis, cria uma contínua associação de processos que em algumas áreas dão origem a formação de areais (áreas de areia exposta em espaços com cobertura de campo). Sobre as bordas destes, ora a vegetação se expande recobrando-os, ora a vegetações se retrai descobrindo-os. Portanto o sucesso de recuperação desta área esta associado há difícil tarefa de fixação da cobertura vegetal.

Dessa forma, este estudo busca contribuir para a evolução e compreensão desses sistemas de crostas no Pampa do Rio Grande do Sul. A partir do estudo de reconhecimento das espécies pioneiras podem-se gerar informações que servirão de base para um estudo mais aprofundado sobre as CBS e compor o quadro mundial de dados.

Por fim, as novas descobertas sobre estes organismos são de imensa importância, pois promovem um conhecimento científico riquíssimo que ainda está incipiente no Brasil.

1.2. OBJETIVOS

Objetivo Geral:

O presente estudo investiga gêneros de cianobactérias nas crostas biológicas de solo (CBS) no sudoeste do Rio Grande do Sul, em áreas de ocorrência de areais. Pretende-se compreender as diversidades de cianobactérias existentes, traçar o perfil das espécies nas crostas biológicas encontradas nesse ecossistema, catalogá-las e verificar seus locais de ocorrências na área de estudo.

Objetivos Específicos:

- Estudar a composição florística das cianobactérias segundo critérios tradicionais e parâmetros morfológicos.
- Fornecer informações sobre os ambientes de ocorrência das assembleias de cianobactérias em crostas biológicas do pampa brasileiro;
- Caracterizar as crostas biológicas de solo sobre os quais as cianobactérias ocorrem.

2. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

A literatura nos mostra que a presença de cianobactérias nos primeiros milímetros de solo e a interação desses organismos com as partículas de solo geram benefícios para o ambiente modificando, especialmente, as propriedades físicas e químicas do solo (BELNAP *et al.*, 2001; VESTE, 2001, BÜDEL, 2005). Essa interação entre partículas de solos, algas, cianobactérias, líquens, musgos e fungos que se desenvolvem nos primeiros centímetros dos solos foi denominada de Crostas Biológicas de Solos – CBS (BELNAP *et al.*, 2003). No início compreendia-se essas crostas somente pelo seu papel biológico (cobertura vegetal), denominando-as de crostas criptógamicas de solo (JEFFREY, 1985). O termo criptógamos (cripto = oculto e gamos = união sexuada) era utilizado genericamente englobando algas, fungos, briófitas e pteridófitas.

2.1. Crostas Biológicas de Solo – CBS

As crostas biológicas de solos - CBS se formam nas camadas mais exteriores do solo e podem ser diferenciadas pela sua morfologia e estrutura interna e externa, o que altera completamente o seu comportamento perante fatores como erosão, escoamento superficial capacidade de infiltração no solo e ciclagem de nutrientes. Sendo assim, existem dois tipos de crostas nos solos: as crostas físicas e as crostas biológicas (BELNAP *et al.*, 2003).

Crostas físicas são consideradas transitórias e podem variar em espessura possuindo menos de um milímetro até alguns centímetros. Tem uma estrutura diferenciada do material do pacote do solo imediatamente abaixo de sua formação e é uma das principais estruturas de solo existentes em muitas regiões áridas. As propriedades das crostas físicas estão relacionadas a sua capacidade de desenvolvimento, que têm sido estudadas há anos. São consideradas crostas impactantes ao solo, devido ao selamento que geram na camada superficial, o que provoca maior escoamento superficial. As quatro principais causas de formação das crostas físicas de solo são: efeito “splash”, causado pelo impacto de gotas de chuva; forças de compressão como o pisoteio de animais e/ou tráfego de veículos; processos de evaporação (formando crostas químicas); bolhas de gás presas (formando crostas vesiculares). Deste modo crostas físicas podem ser formadas a partir de um desses fatores ou em quaisquer combinações destes (BELNAP *et al.*, 2001).

As CBS são o resultado de uma associação íntima entre as partículas do solo e organismos, ou seja, cianobactérias, algas, micro fungos, líquens e briófitas, que vivem dentro ou imediatamente no topo dos primeiros milímetros de solo (BELNAP *et al.*, 2003). Essas crostas possuem um caráter benéfico ao solo devido as suas inúmeras capacidades de controle a erosão e reestruturação de nutrientes. Portanto, as partículas de solos são agregadas devido a atividade da biota e o resultado é uma massa viva, uniforme e coesa que recobre a superfície do solo. A figura 1 nos mostra um diagrama esquemático em blocos de uma crosta biológica do solo com colonizadores típicos. Embora os organismos não estejam representados em uma escala real, considera-se a espessura da camada de cerca de três milímetros.

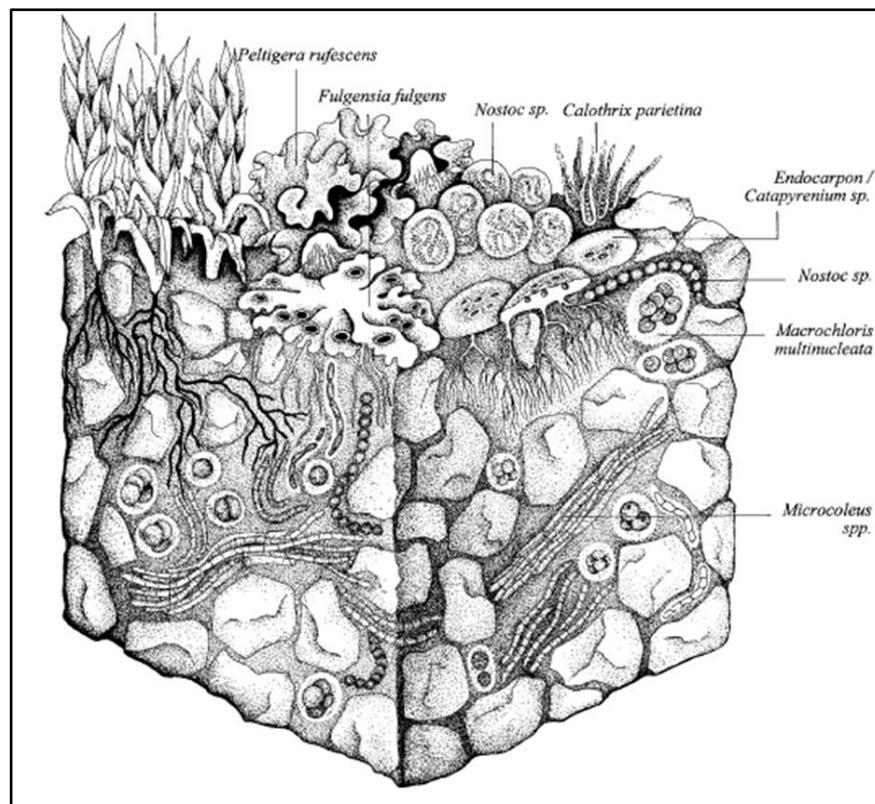


Figura 1. Bloco esquemático em diagrama, de uma crosta de solo com CBS e seus agentes típicos. Espessura da camada é de cerca de 3 mm (Belnap, *et al.*, 2003).

Estruturalmente, as crostas biológicas são tapetes ou coberturas de baixa estatura entre (1-10 cm de altura) desigual e áspera. Na cobertura mais baixa, líquens, musgos, fungos e filamentos de cianobactérias formam uma matriz que blinda as partículas de solo, modificando sua coesão (BELNAP ET AL., 2001). Horizontalmente, as CBS ocupam as zonas pobres em nutrientes entre moitas de vegetações e em muitos outros tipos de vegetações de ambiente árido e semi-árido.

As CBS melhoram a qualidade de agregação das partículas do solo, pois, contribuem para a formação de matéria orgânica e reduzem a erosão por ventos e escoamento superficial, devido à reagregação de partículas. Assim, possuem a capacidade de alterar o equilíbrio das infiltrações de águas, contrário das crostas físicas de solos que ampliam a erosão por escoamento superficial. Portanto, as crostas biológicas são capazes de estabilizar o solo contra erosões, o que aumenta a estabilidade da paisagem especialmente quando essas se encontram associadas a coberturas de plantas vasculares. (BELNAP, 2001).

2.1.1. Morfologia das Crostas Biológicas de Solo – CBS

A aparência, biomassa e composição de espécies de CBS variam amplamente entre os regimes climáticos. Essas diferenças internas ou externas estruturais resultam da existência de crostas distintas, que diferem especialmente por causa dos processos ecológicos e hidrológicos, o que resulta na imensa diversidade de tipos de crostas (BELNAP *et al.*, 2003). O sistema de classificação apresentado aqui é baseado em comportamentos ecológicos que influenciam o escoamento, infiltração e capacidade de deslocamento de sedimentos. Esses caracteres se fazem importantes devido a possibilidade de discutir como as crostas biológicas podem afetar as configurações hidrológicas em cada ambiente.

Outro fator considerável é o período reprodutivo dos espécimes. Com distinta aparência durante os períodos de inverno e verão. Portanto, quando observadas em campo, deve-se considerar as modificações ocorrentes de expansão ou retração dos organismos perante as condições sazonais. As figuras 2 e 3 mostram o comportamento dos nas CBS em diferentes momentos de disponibilidade de recursos hídricos em sites experimentais da Australian National Botanic Gardens e Australian National Herbarium, Canberra. Austrália. Na figura 4 é possível observar a diversidades de morfotipos de CBS nos distintos sites.

A literatura nos aponta ainda que as CBS contêm estruturas internas que vão de uma escala tamanho milimétrico para tamanho micrométrico, onde a formação desses “micro-layers” horizontais podem estar relacionados com a pedogênese inicial (FISCHER *et al.*, 2010).



Figura 2. Site experimental de CBS com crostas transplantadas, durante período úmido. Projeto ecologia de Crostas - Australian National Botanic Gardens e Australian National Herbarium, Canberra. Australia. Fonte: <http://www.anbg.gov.au>.



Figura 3. Site experimental de CBS com crostas transplantadas, durante período seco. Projeto ecologia de Crostas - Australian National Botanic Gardens e Australian National Herbarium, Canberra. Australia. Fonte: <http://www.anbg.gov.au>.

Assim, para Belnap, 2006 a classificação morfológica externa das crostas em áreas áridas ou semiáridas é feita de acordo com o ciclo hidrológico através de sua evapotranspiração potencial (PET), desta forma se reconhece quatro tipos de coberturas distintas: lisa, rugosa, blocos pedunculados e/ou ondulada (figura 5).

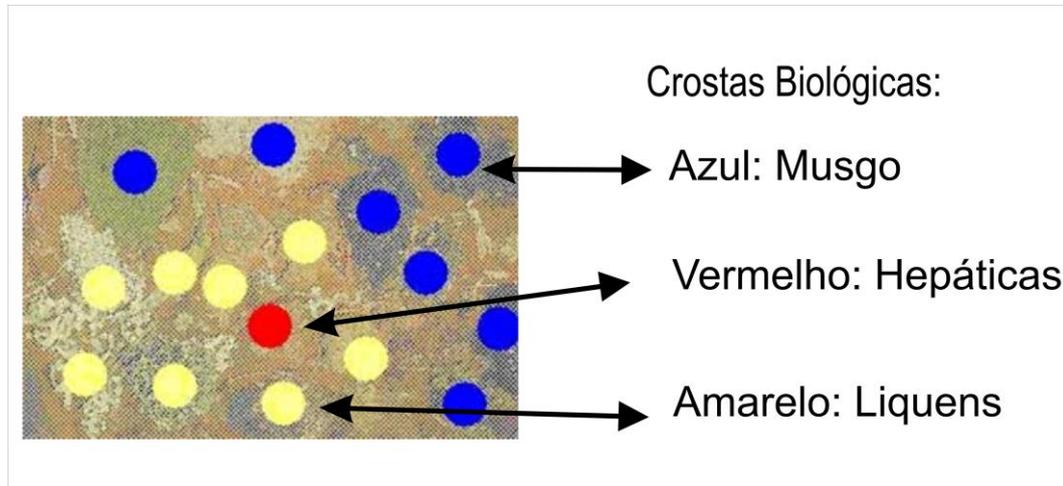


Figura 4. Legenda de morfotipos predominantes por crosta, do site experimental de CBS. Os pontos amarelos indicam crostas de liquens, os pontos azuis mostram crostas com predominância de musgos e o ponto vermelho, crostas hepáticas. Projeto ecologia de Crostas – Australian.

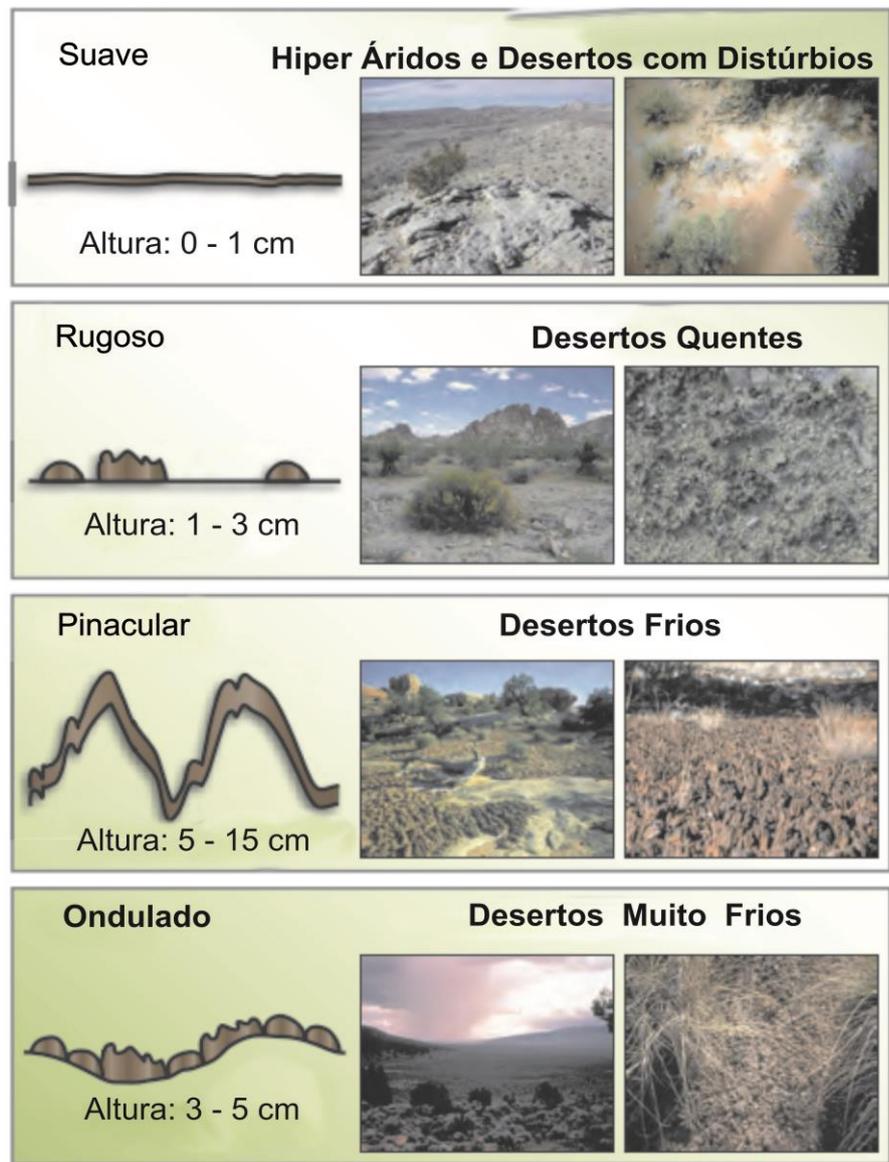


Figura 5. Exemplos de quatro tipos morfológicos de BSC, de acordo com a evapotranspiração potencial (Fonte: ROSENRETER *et al.*, 2007).

Büdel *et al.*, (2003) situa a distribuição dos mapeamentos conhecidos e exploratórios sobre CBS em todo o mundo (figura 6). O mapeamento ressalta a presença de crostas biológicas de solo em todas as latitudes do planeta, ou seja, a influência desses microrganismos se faz presente em todas as latitudes do planeta. Mesmo em áreas extremas de calor e frio, onde se concentram a expressiva maioria dos estudos de crostas biológicas conhecidos. Tal interesse da academia científica internacional se faz compreensível devido à singularidade e importância ecológica nesses ambientes de vegetação escassa

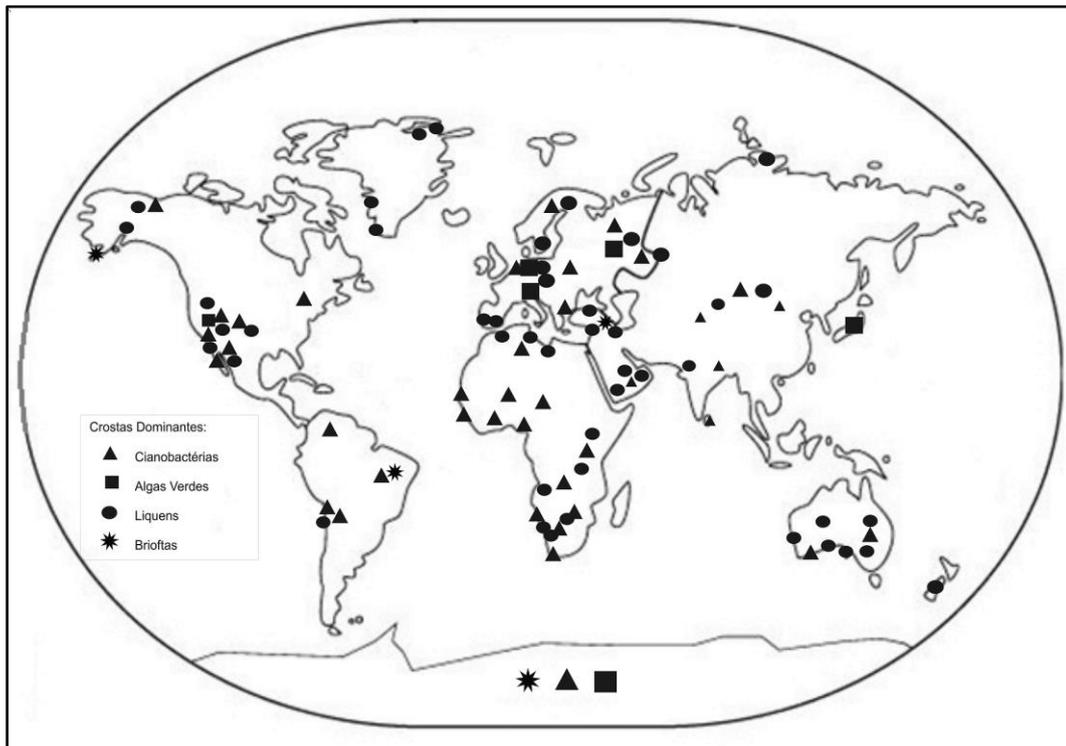


Figura 6. Distribuição das crostas biológicas de solo (CBS) no Planeta. (Adaptado de BELNAP, *et al.*, 2003).

Embora o mapa já tenha cerca de dez anos, grande parte de estudos feitos com CBS tratam da flora e taxonomia das espécies e novas interpretações por métodos moleculares (LEWIS *et al.*, (1992); GUNDLAPALLY & PICHEL (2006)) ou pelo potencial fertilizante dos organismos em áreas úmidas (WATANABE *et al.* (1978); PAINTER (1993); ABD-ALLA *et al.* (1994)) . Os estudos de comportamento ecológicos ainda são poucos e ocorrem a partir dos últimos anos. No Brasil, os estudos de CBS foram iniciados no ano de 2013 pelo professor Dr. Luis Henrique Zanini Branco da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de São José do Rio Preto. Estes estudos se localizam nos estados de São Paulo e Minas Gerais, no bioma cerrado, onde foram encontradas CBS com morfotipo predominante de cianobactérias.

Contudo, estudos em regiões tropicais e subtropicais quentes e úmidas ainda se encontram em escala inicial em todo o planeta. Desta forma, trabalhos em CBS são necessários e muito importantes.

Obviamente, outros fatores podem influenciar na morfologia externa de crostas biológicas de solo, como: textura do solo, composição química e possíveis históricos de perturbações ao ambiente natural. Entretanto, tais fatores referem-se a etapas mais avançadas de estudos.

2.2. Cianobactérias

As cianobactérias são uma das formas mais antigas de vida conhecidas deste planeta, devido à sua plasticidade ecológica foram um dos organismos vivos que conseguiram superar a antiga atmosfera, evoluindo de forma extremamente competente a todas as adversidades passíveis o que as possibilitou, a adaptarem-se em diversos ambientes e latitudes da Terra, sendo assim, encontradas em todas as partes do planeta.

Tiveram seu auge no Pré-Cambriano onde deixaram seus registros fósseis, conhecidos como estromatólitos (figura 7), que são depósitos organo sedimentares gerados da precipitação ou ligação de sedimentos como resultado do crescimento vertical ou da atividade metabólica desses organismos. São encontrados em rochas sedimentares com registro geológico contínuo por 2.7 bilhões de anos. (WHITTON & POTTS, 2000).



Figura 7. Estromatólitos vivos em Hamelin Pool, Shark Bay, Noroeste do estado de Western Austrália, em formato de colunas. Estima-se sua idade entre 3 e 4 mil anos. Fonte: <http://www.ipaq.org.br/vb/showthread.php?91261-Estromat%F3lito>.

As cianobactérias são microrganismos procariotos (ausência de plastos e núcleo verdadeiro), com divisão celular centrípeta, reprodução assexuada e ausência de elementos móveis. Possuem clorofila *a*, *b* e *d* ou seja, são organismos fotossintetizantes e assim produzem o oxigênio (O_2), ficobilinas, xantofilas e caroteno, apresentam estrutura fina e composição química de aparelho fotossintético, com capacidade de enriquecimento nutricional e crescimento fisiológico (PARRA & BICUDO, 1995).

As cianobactérias são também denominadas algas azuis ou verde azuladas devido à sua pigmentação azul (ficocianina); sua substância de reserva, a cianofíceia (amido das cianofíceas) é semelhante ao glicogênio. Esses organismos encontram-se presentes em todos os meios: dulcícolas (geleiras, lagos e rios), marinhos (oceanos e salinos) e ambientes extremos como desertos quentes e frios que incluem as regiões polares. São responsáveis por parte essencial da produção primária dos ecossistemas onde estão inseridas (WHITTON & POTTS, 2000).

Desta forma, muitos autores reconheceram sua importância e necessidade de maior compreensão de sua diversidade e papel ecológico, tanto em ambientes aquáticos, como terrestres.

2.2.1. Cianobactérias Edáficas

Organismos edáficos são os que ocorrem sobre o solo, e segundo Granhall (1975), os fatores que possibilitam as cianobactérias ocuparem esses habitats são: umidade, pH, minerais, nitrogênio e radiação solar.

A maior parte da biomassa ocorre geralmente na superfície, com algumas células ou filamentos penetrando vários milímetros no solo. Isso sendo possível devido à luz que penetra através do substrato em solos ricos em quartzo (SCHWABE, 1963 apud WHITTON & POTTS, 2000).

Na fertilização, sua principal característica é fixar o nitrogênio, sendo este um macro nutriente fundamental. Somente certas cianobactérias e algumas bactérias são capazes de fixar o nitrogênio atmosférico. Contudo somente as cianobactérias heterocitadas (com heterócitos) são capazes de produzir a nitrogenase e liberar substâncias como nitrato para a absorção das raízes das plantas (GAMA, 2012).

Na decomposição das moléculas orgânicas, provocam a fermentação dos organismos, decompondo-os e iniciando o processo de produção de húmus, responsável pela presença de matéria orgânica que é um elemento essencial na fertilidade do solo para a fixação de espécies superiores. De tal modo, as cianobactérias desempenham um papel funcional significativo nos solos, auxiliando na sua formação.

A partir da decomposição de organismos, ocorre alteração no substrato, que modifica sua capacidade de retenção de água, e ao infiltrarem, ampliam o processo de quebra de moléculas, retro alimentando o sistema e disponibilizando mais nutrientes que irão controlar a capacidade de troca de cátions e o pH do solo, tornando-o mais apto para fixação de plantas

superiores. Dessa forma, modifica a competência de decomposição do substrato rochoso, ampliando a aptidão de formar pacotes de solo, que irão variar de acordo com o material de origem, relevo, clima e tempo disposto ao processo.

A utilização destes organismos como fertilizantes é comum em arrozais e para aumento de produção de cereais, especialmente no leste da Ásia, sendo os mesmos, cultivados como fertilizantes naturais.

Segundo Belnap (1995), Whitton & Poots (2000) e Bowker (2010), as cianobactérias edáficas agem como organismos estabilizadores no sistema solo. Suas células ou filamentos são envolvidos por mucilagem extremamente persistente e agregadora. Quando hidratadas, as cianobactérias se tornam ativas, podendo mover-se através dos solos, deixando para trás um rastro pegajoso por serem mucilaginosas. Esse rastro amplia a estabilidade dos solos unindo as partículas. Segundo Büdel (2005), esse material de revestimento das cianobactérias adere às superfícies, tais como partículas de rocha ou solo, formando uma teia de fibras no solo. Desta forma, partículas de solo soltas, são unidas e qualquer outra superfície instável e altamente propensa à erosão, torna-se resistente à erosão eólica e hídrica.

Essa competência de união do solo não é interdependente da presença de filamentos vivos. Camadas de bainhas mucilaginosas abandonadas, construídas ao longo de grandes períodos de tempo, ainda podem ser encontradas agarradas tenazmente a partículas do solo em profundidades superiores a 15 cm, propiciando assim, coesão e estabilidade em solos arenosos soltos, mesmo que em alta profundidade (WHITTON & POTTS, 2000).

Contudo a capacidades adaptativas desses microrganismos, foi a razão do sucesso evolutivo sendo as características mais importantes: as altas temperaturas, a alta radiação solar (ultra-violeta B e C), a dessecação (tolerância a períodos sem chuva) e a altas concentrações de gases sulfídricos (WHITTON & POTTS, 2000).

A tolerância à radiação ultravioleta (UV) encontra-se devido à sua capacidade de absorver a radiação e a dissipar em forma de calor, não gerando prejuízo às células. Contudo, algumas espécies fazem a fotossíntese de forma mais eficiente com baixa densidade do fluxo de fótons, o que lhes permite uma fotossíntese mais eficaz logo abaixo da superfície (CONDE *et al.* 2000).

Embora a umidade seja um fator essencial à vida desses organismos, segundo Belnap (2006), a tolerância à desidratação e estresse hídrico é uma característica comum a todos os grupos de cianobactérias. Sendo assim os organismos de maior tolerância em ambientes secos a desérticos.

Apesar das cianobactérias não conseguirem manter reservas de água em seu sistema, possuem a habilidade de diminuir o metabolismo durante prolongados períodos de secas, e assim sobreviverem até a quase completa desidratação (WHITTON & POTTS, 2000). Contudo, necessitam de água em estado líquido para se reidratarem, diferente de alguns vegetais que conseguem absorver água no estado de vapor (BÜDEL, 2001).

Assim, as comunidades desses microrganismos foram se espalhando por todas as latitudes e continentes, modificando o antigo planeta e desempenhando papéis fundamentais no ecossistema do solo hoje encontrados (JEFFREY & SHUBERT, 2001). Na tabela 1 encontramos uma lista de regiões, assuntos e autores que estudaram espécies edáficas.

Tabela 1. Estudos conhecidos de florística e taxonomia de cianobactérias Edáficas (de solos) no mundo, adaptado conforme Whitton & Potts (2000).

Região	Temas abordados	Referências
Argentina	Campos de Arroz	de Halperin <i>et al.</i> (1992)
Brasil	Cianobactérias edáficas Jardim Botânico de São Paulo	Azevedo (1991)
EUA, Utah	Flora em CBS em Áreas Desérticas	Anderson & Rushforth (1976) Ashley <i>et al.</i> (1985) Johansen (1993)
Reino Unido	Catálogos de Flora e Estampas	Bristol (1920)
Grécia	Morfologia de Espécies de Solo	Economou <i>et al.</i> (1984)
Romênia	Levantamento de Ampla Gama de Tipos por Solos	Gruia (1964)
República Tcheca e Rússia	Lista Taxonômica com Estampas	Desertová (1974)
Rússia e outras ex-URSS	Guias de Revisão Bibliográfica e Literaturas mais Antigas	Forest (1965)
Bangladesh	Campos de Arroz	Khan <i>et al.</i> (1994)

Região	Temas abordados	Referências
Índia	Florística de Espécies Alcalinas	Prasad & Srivastava (1968)
	Campos de Arroz	Gupta (1966)
	Espécies de Cianobactérias não Heterocitadas em Campos de Arroz	Tiwari (1975)
	<i>Nostocaceae</i> em Campos de Arroz	Tiwari & Pandey (1976)
	Florística em Campos de Arroz Próximo de Pusa - Índia	Jha <i>et al.</i> (1986)
	Florística em Campos de Arroz - Kerala - Índia	Anand & Hopper (1987)
	Taxonômia Detalhada das Espécies em Campos de Arroz	Anand (1990)
	Florística de Campos de Arroz - Arunachal Pradesh	Singh <i>et al.</i> (1997a)
	Florística de Campos de Arroz - Nagaland	Singh <i>et al.</i> (1997b)
Iraque	Florística de Campos de Arroz	Al-Kaisi (1976)
Austrália	Crostras Criptógramas	Eldridge & Greene (1994)

2.2.2. Caracterização das Cianobactérias

Dentre os caracteres morfológicos para distinção dos táxons de cianobactérias, destacam-se: tipo de talo (unicelulares, coloniais ou filamentosos – homocitados ou heterocitados), forma e dimensões das células, planos de divisões celulares, presença e o tipo de bainha ou envelope mucilaginoso, conteúdo celular, ausência ou presença de ramificações falsas ou verdadeiras.

2.2.2.1. Tipos de Reprodução

As cianobactérias são organismos com reprodução assexuada que se reproduzem por diferentes formas dependendo do tipo de talo. As cocoides (unicelulares ou coloniais) se reproduzem por divisão binária de células, em 1, 2, 3 ou mais planos (figura 8) Alguns grupos podem formar exócitos por fissão binária ou, ainda, baeócitos ou nanócitos por fissão múltipla (KOMÁREK & ANAGNOSTIDIS, 1998).

Nas espécies filamentosas é comum a ocorrência de fragmentação do tricoma, formando hormogônios ou hormocitos que são geralmente constituídos de poucas células. Desta forma, eles crescem através de divisões celulares formando novos tricomas (Figura 9).

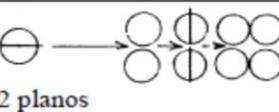
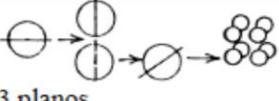
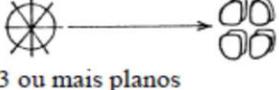
Divisão e ciclo celular	Processo/Produto	Família	Gêneros registrados
 <p>1 plano</p>	Fissão binária/ Células-filhas	Synechococcaceae	<i>Aphanothece</i> <i>Johannesbaptistia</i> (divisão perpendicular ao eixo menor da célula)
 <p>2 planos</p>		Merismopediaceae	<i>Synechocystis</i> , <i>Aphanocapsa</i> , <i>Merismopedia</i> , <i>Microcrocis</i> , <i>Coelomoron</i> , <i>Snowella</i> , <i>Gomphosphaeria</i>
 <p>3 planos</p>		Microcystaceae	<i>Microcystis</i> <i>Eucapsis</i>
 <p>3 ou mais planos</p>	Células-filhas	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>

Figura 8. Tipos de divisão celular nas cianobactérias unicelulares e coloniais, adaptados conforme apresentados por Komárek & Anagnostidis (1998). Fonte: Werner (2002).

Hormocitos são hormogônios envolvidos por mucilagem e funcionam como uma estrutura de resistência. Estes crescem através de divisões celulares formando novos tricomas. As cianobactérias não possuem cílios ou flagelos, mas quando móveis a locomoção se faz por meio de um deslizamento.



Figura 9. Exemplo de hormogônio de *Nostocales* sp. amostra de cultivo (Foto cedida por Mariéllen Martins).

2.2.2.2. Tipo e estrutura dos talos

As cianobactérias são organismos formados por talos e possuem diferentes formatos podendo ser: unicelulares, coloniais ou filamentosos.

Nas espécies unicelulares, cada organismo é constituído por uma única célula, o qual pode ter vida livre ou não. Como resultado, maior ou menor coalescência temporária de várias gerações de células recém divididas, podem-se constituir formas coloniais. No entanto, nas formas coloniais típicas, as células crescem em conjunto no interior de um envelope mucilaginoso comum, o qual é constituído por substâncias de natureza mucilaginosa, produzidas por cada uma das células (WHITTON & POTTS, 2000).

Nas espécies filamentosas, as células estão estruturadas em organismos que podem ser ramificados ou não. Nos organismos que apresentam ramificações, estas podem ser verdadeiras ou falsas. Estes três tipos de organização correspondem a três tipos de evolução nas cianobactérias. Assim, os tipos, unicelular e colonial são normalmente considerados primitivos, enquanto o filamentoso, mais evoluído é derivado de precursores unicelulares (PARRA & BICUDO, 1996).

As cianobactérias filamentosas possuem tricoma e filamento. Assim, o termo tricoma é definido como uma cadeia (fileira) de células, que possuem seus meristemas fechados ou abertos que podem sofrer necrose, morte por necrídios que se fragmentam e dividirem em novas células, os hormogônios. Quando as fileiras de células (tricomatas) estão envoltas por uma bainha mucilaginosa, são denominadas de filamentos. As bainhas podem ser finas ou espessas, homogêneas ou lameladas (Figuras 10 e 11). A bainha ou envelope mucilaginoso é uma cobertura de polissacarídeo (PARRA & BICUDO, 1996).

As bainhas são abertas e sua cor está relacionada com o ambiente e suas características de resistência à radiação (BOWKER, 2010). O envelope mucilaginoso é fechado e possui formatos variados

Em muitas espécies ocorre a presença de heterócitos que são células vegetativas diferenciadas com parede espessada e um citoplasma rico em ribossomas, no qual estão dispersos tilacoides que contêm apenas fotossistema I. A capacidade de fixar o azoto atmosférico deve-se à presença, no citoplasma destas células, da nitrogenase.

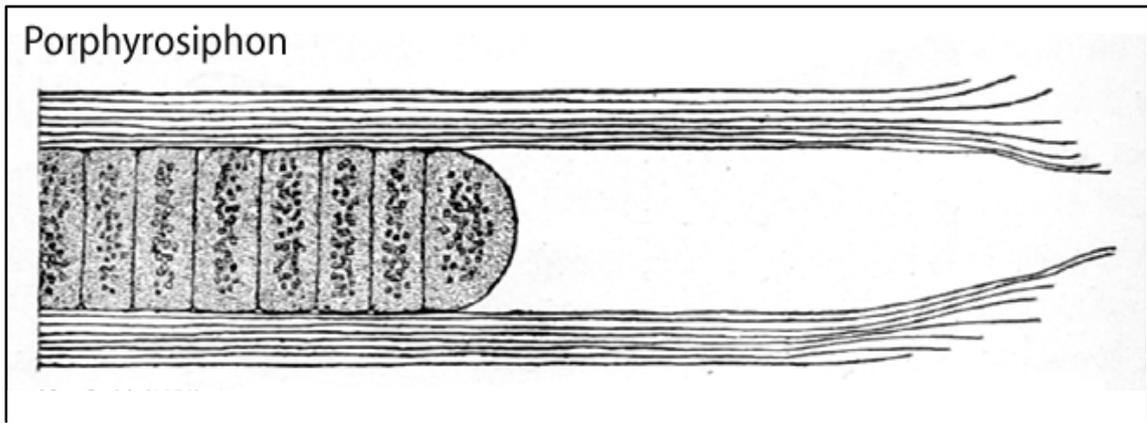


Figura 10. Filamento de *Porphyrosiphon* com tricoma envolto por bainha lamelada. Fonte: <http://cfb.unh.edu/> <http://cfb.unh.edu/phycokey/Choices/Cyanobacteria>.



Figura 11. Tricomas de *Microcoleus* sp. envoltos por uma bainha mucilaginosa espessa. Fonte: (<http://galerie.sinicearasy.cz/galerie>).

Os acinetos são esporos de resistência, os quais compõem células vegetativas diferenciadas e com parede celular espessa e conteúdo celular densamente granulado (Fig 12B).

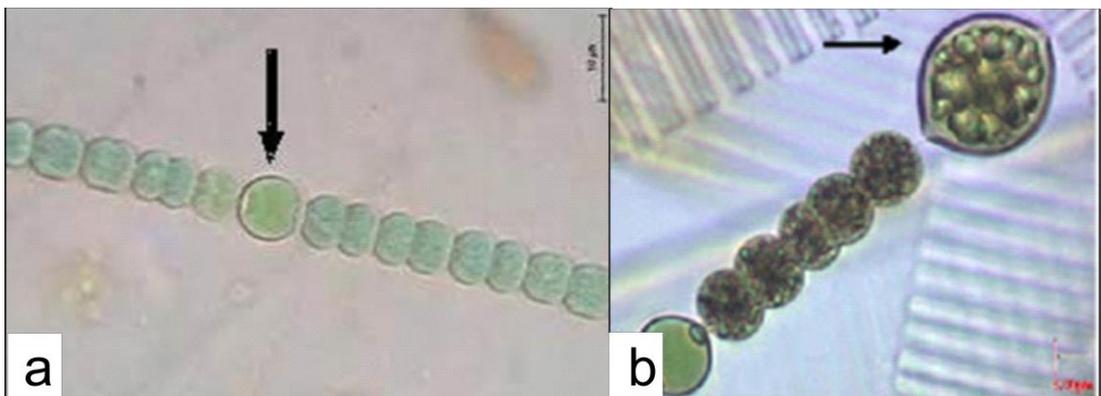


Figura 12. Filamentos de cianobactérias heterocitadas. a) Formados por células vegetativas e heterocito (seta). b) Formados por células vegetativas, acinetos (seta) e heterocito. (Fonte: <http://mundociano.blogspot.com.br>).

2.1.2.3. Tipos de ramificações e estruturas

Algumas cianobactérias filamentosas apresentam ramificações e estas, podem ser falsas ou verdadeiras. As ramificações verdadeiras são produzidas quando ocorre mudança de plano na divisão celular, passando a ser plano paralelo ao eixo principal do tricoma (Figura 13A). As ramificações falsas são produzidas sem mudança no plano de divisão celular (Figura 13B).

2.2.3. Taxonomia das Cianobactérias

A divisão Cyanophyta compreende uma única classe (Cyanophyceae) e engloba cerca de 150 gêneros e aproximadamente 2000 espécies (HOEK *et al.*, 1995). Além dos possíveis erros, pois um dos maiores problemas dentro da taxonomia das cianofíceas é a ocorrência de diferentes morfotipos apresentados por várias espécies, os quais podem resultar de variações genéticas a variações ambientais, dificultando a identificação específica precisa. (WERNER, 2002).

Durante muitos anos a morfologia foi um dos principais critérios utilizados nas sistemáticas e taxonomia das cianobactérias nos quais foram baseados os primeiros sistemas de classificação.



Figura 13 a) Ramificação verdadeira em capsosira; b) Ramificação falsa em Scytonema. (Fonte: <http://galerie.sinicearasy.cz/galerie>).

No sistema de classificação KOMÁREK & ANAGNOSTIDIS (1986, 1989, 1995, 1998) e ANAGNOSTIDIS & KOMÁREK (1988, 1990), as cianofíceas foram reorganizadas com base em critérios morfológicos, métricos, ecológicos, fisiológicos, bioquímicos e ultra-estruturais, sendo o padrão de divisão celular, o ciclo de vida, a organização dos tilacoides, a habilidade de formar aerótopos e a localização dos mesmos, a estrutura da parede celular, a

motilidade, a estrutura dos tricomas, o tipo de fragmentação dos mesmos e, ainda, o tipo de talo de grande importância neste sistema (WERNER, 2002).

Atualmente, o critério constitui um sistema artificial que está sendo continuamente reformulado, de caráter transitório, sendo necessário ampliação e aquisição de informações para sustentar novas modificações e à medida que isso acontece, dados são acrescentados aos sistemas de classificação Hoffmann *et al.* (2005). Desta forma, a morfologia é apenas um dos critérios utilizados para distinguir esses microrganismos, sendo aceito a taxonomia polifásica (KOMÁREK 2005).

A taxonomia polifásica utiliza vários dados provindos de outras áreas do conhecimento, ou seja, é uma combinação de abordagens ecológicas, fisiológicas, ultraestruturais, bioquímicas, biologia molecular e caracteres morfológicos (figura 14).

Assim, por ser um sistema bastante atualizado e completo foi escolhido o sistema de classificação Hoffmann *et al.* (2005), observando as modificações de Komárek (2006). A identificação dos táxons específicos foi baseada principalmente em trabalhos de Komárek e Anagnostides (1999, 2005) e Komárek (2013).

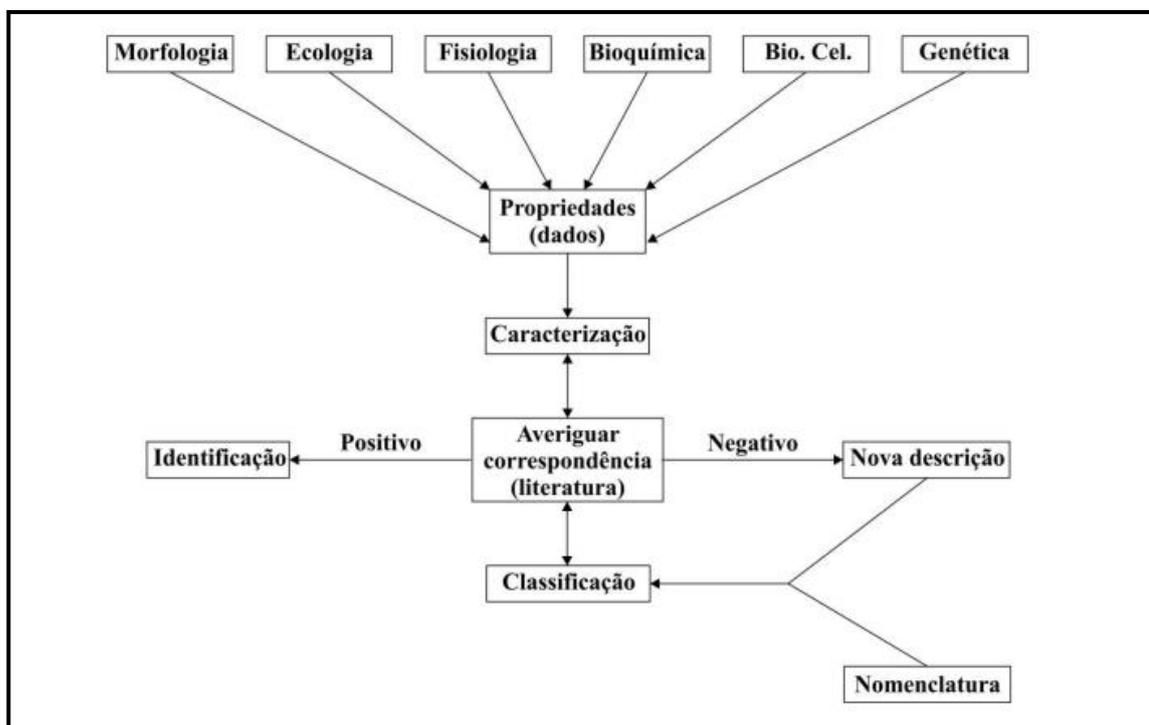


Figura 14 Esquema ilustrado de vários processos utilizados pela taxonomia polifásica durante a identificação, classificação e a novas descrições de cianobactérias (Fonte: Gama, 2012).

Por uma questão estilística e didática procurou-se apresentar o trabalho pelas principais características do sistema de Komárek e Anagnostidis (1986,1989,1995,1989) e Anagnostidis e Komárek (1988,1990).

As principais características distintivas entre as ordens, segundo esse sistema, são as seguintes:

- Chroococcales – talo unicelular ou colonial, reprodução por divisão celular, baeocitos ou exósporos;
- Oscillatoriales – talo filamentoso homocitado, reprodução por hormogônios e hormocitos;
- Nostocales – talo filamentoso heterocitado, não ramificado ou com falsas ramificações, reprodução por hormogônios e hormocitos;
- Stigonematales – talo filamentoso heterocitado, com ramificações verdadeiras, reprodução por hormogônios e hormocitos.

3. CROSTAS BIOLÓGICAS DE SOLOS NOS AREAIS DA CAMPANHA GAÚCHA

3.1. A área de estudo

No Sudoeste do Rio Grande do Sul, as áreas que apresentam areais estão mais precisamente entre as latitudes 29°00' S e 31°00' S e as longitudes 54°30' W e 58° 45' W. A partir do meridiano de 54° em direção oeste até a fronteira com a Argentina e o Uruguai, sua extensão para o conjunto de municípios é de, aproximadamente 3.600 ha, abrangendo as municipalidades de Alegrete, Cacequi, Itaqui, Maçambará, Manuel Viena, Quaraí, Rosário do Sul, São Borja, São Francisco de Assis e Unistalda.

Os areais ocorrem em áreas com substrato arenoso ou areno-argiloso determinadas como depósitos sedimentares recentes do quaternário. Estes dados associados a indicadores paleoclimáticos permitiram a conclusão de que os areais são áreas de retrabalhamento recente, sob clima úmido, de depósitos cuja origem estão associadas a condições ambientais diferentes das atuais (SUERTEGARAY, 2012).

Para a realização deste estudo foram escolhidas três áreas da Campanha Gaúcha, nos municípios de Alegrete e São Francisco de Assis. Para realizar a amostragem optou-se por coletar duas amostras por sítio (figura 15).

A primeira área de coleta é o Deserto de São João (29°42'35.48"S e 55°25'13.47"W), localizada em Alegrete. O local foi escolhido uma área geologicamente peculiar onde ocorre o contato entre os arenitos Botucatu e Guará. Além de ocorrer, sobre o areal, um dos primeiros locais de plantio de eucalipto, e este se plantio ocorre há cerca de 20 anos, tempo suficiente para modificações biogeográficas, devido à inclusão da espécie exótica.

A segunda área de coleta compreende o Areal na propriedade da Dona Irene, em São Francisco de Assis (29°30'54.98"S e 55° 7'23.07"W). Foi escolhido por ser uma área que sofre com processos de Arenização acentuados por processos de ravinamento, onde crostas biológicas recobrem o solo ainda estável no topo das ravinas.

A terceira área de coleta é o Cerro da Esquina em São Francisco de Assis (29°23'58.85"S e 55°13'37.60"W), a área foi escolhida por ser o areal mais estudado. O local da coleta, se encontrar em uma ravina que passou recentemente por processo de estabilização por estaqueamento de bambus.

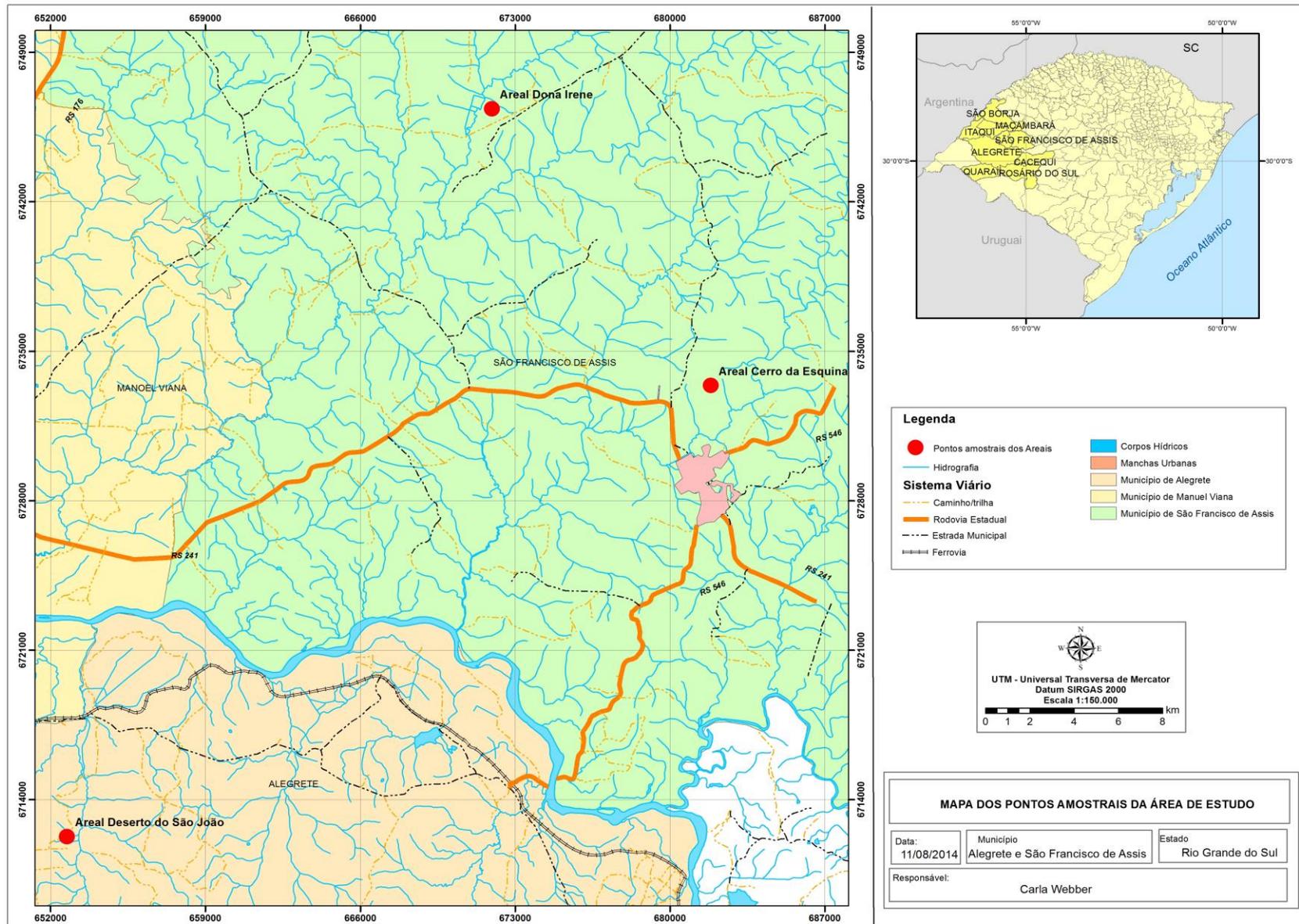


Figura 15 Mapa de localização da área de estudo.

3.2 Caracterizações da Área de Estudo

A região sudoeste do Rio Grande do Sul se encontra nas unidades geomorfológicas do planalto meridional, depressão periférica e “Cuesta do Haedo”, cuja área de relevo é de reduzida altimetria, onde as áreas mais elevadas estão em torno de 200 a 300 metros, possuindo como forma típica de relevo as coxilhas (SUERTEGARAY, 1987). Está inserida na bacia hidrográfica do rio Uruguai que possui, neste setor, os rios Ibicuí e Quaraí como seus principais afluentes.

O substrato rochoso é composto por depósitos areníticos fracamente consolidados das formações Botucatu e Guará:

A formação Botucatu, data do Mesozóico sendo deposições eólicas do Jurássico ao Cretáceo, correspondendo aos extensos campos de dunas do paleodeserto de Botucatu. Apresenta espessura bastante variada no Rio Grande do Sul, desde ausente (bloco central) até 100 m, dada uma sequência de derrames de lava que conserva a duna previamente ativa, por vezes preservando sua morfologia e caracterizando o final da deposição da Formação Botucatu como contemporânea ao início do vulcanismo da Formação Serra Geral (SCHERER, 2000). A formação Botucatu (juro-cretáceo), constituída de arenitos feldspáticos finos e médios, foscos, com estratificação eólica típica e coloração rósea ou avermelhada. (SCHERER 2000).

A Formação Guará, restrita em sua ocorrência ao oeste do Rio Grande do Sul, assenta, estratigraficamente, em discordância sobre a Formação Sanga do Cabral e encontra-se sotoposta à Formação Botucatu e, na ausência dessa, sob as vulcânicas da Serra Geral tem uma espessura que oscila entre os 60 e 100 m e distribui-se de maneira quase contínua dentro da área (SCHERER & LAVINA, 2005). Os arenitos da Formação Guará, segundo Scherer & Lavina (2005), apresentam coloração bege a esbranquiçada e natureza fluvial com processos eólicos associados. Caracterizam-se pela granulometria grossa e média pouco selecionada, por vezes finas e com matriz argilosa; evidenciam mineralogia quartzosa, com grãos subangulosos e com subordinação de feldspatos; e possuem estratificação cruzada-acanalada, plano-paralela e maciça.

Segundo Verdum & Basso (2000), materiais finos, de tamanho silte e argila, encontram-se presentes em uma proporção de aproximadamente 10% nas formações superficiais dos municípios de Manuel Viana e São Francisco de Assis. Assim, segundo Vieira (2012), quanto maior o teor de silte, devido a sua baixa produção de matéria orgânica, mais inadequado se torna para uso e manejo agrícola, sendo mais suscetível a processos

erosivos. Devido às diferentes características de cimentação promovidas por silicatos e óxidos de ferro, os relevos residuais areníticos formam cerros tabulares com topos planos apresentando diferentes resistências quanto à sua alteração e erosão (VIEIRA, 2012).

A formação Serra Geral, composta por rochas básicas, possui cor escura, preta, com predomínio de minerais ricos em ferro e magnésio. Segundo Suertegaray (1998), nas áreas de “cuesta” podem ocorrer afloramentos da formação Botucatu, denominadas de “Janelas para o passado”, sobre as quais recaem muitas áreas de ocorrência de areais mapeados na região.

De acordo com Suertegaray (1987); Suertegaray *et al.*, (2012), a dinâmica de surgimento e expansão dos areais é posterior ao processo de colonização humana na região, estando condicionada pela fragilidade natural do meio. Sendo os agentes fundamentais para o processo de Arenização as dinâmicas hídricas e eólicas, que indicam que os areais resultam inicialmente por processos hídricos e esses processos relacionados à topografia favorável, permitem a formação de ravinas e voçorocas em uma fase inicial. Estas na continuidade do processo desenvolvem erosão lateral e regressiva, alargando as bordas. Por outro lado à jusante destas ravinas e voçorocas devido o processo de transporte de sedimentos pela água em episódios de chuvas torrenciais, formam-se depósitos arenosos em forma de leques. Assim com o tempo esses leques vão se agrupando e em conjunto dão origem a um areal, sendo ampliado pelos ventos que atuam em todas as direções (figura 16).

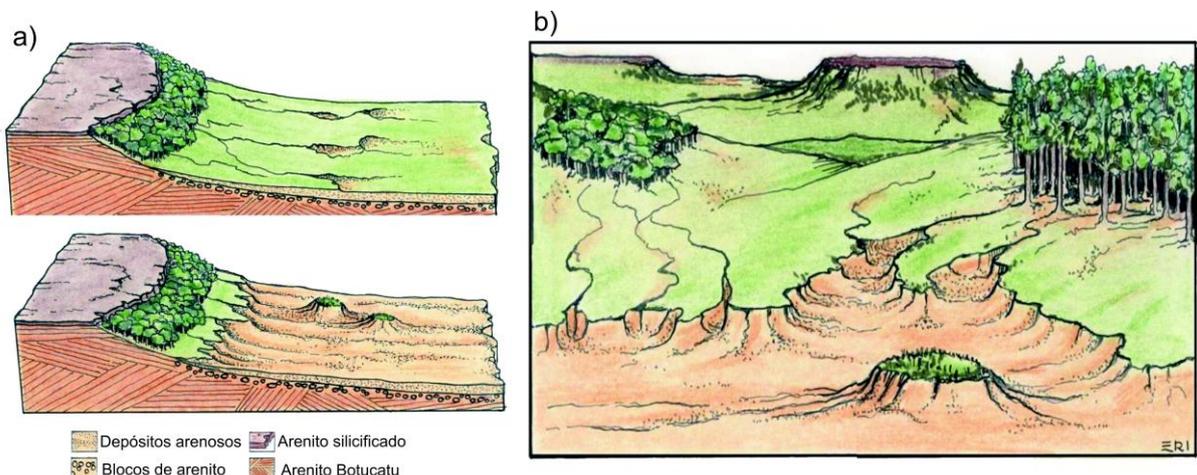


Figura 16 Croqui representativo da tipologia dos areais. a) areais em rampa e b) areais em colinas.

Assim o processo inicial de formação dos areais ocorre sob áreas de reduzida biomassa (campo) evoluindo para manchas arenosas ou areais propriamente ditos, passando a feições de erosão como áreas de ravinamento e de formação de voçorocas (SUERTEGARAY *et al.*, 2012).

Desta forma, a arenização corresponde ao processo de formação dos areais, ou seja, é o retrabalhamento por processos hídricos e eólicos de depósitos areníticos pouco consolidados ou arenosos não consolidados, que acarreta dificuldade na fixação da vegetação, em função da intensa mobilidade dos sedimentos. (SUERTEGARAY, 2008).

A morfodinâmica dos areais exige um conhecimento climático da região. Sendo possível estabelecer assim uma associação a partir das variações climáticas com as dinâmicas geomorfológica, levando em conta a dinâmica atual hídrica – eólica local e os aspectos de clima e tempo inter-relacionando com o processo de Arenização.

O potencial climático da região é caracterizado com precipitações em torno dos 1500 mm e médias de temperatura que variam entre 12°C e 14,3°C no inverno a 23,5°C a 25°C no verão (CAVALCANTI *et al.*, 2009). Segundo a classificação climática de Köppen a região dos areais está inserida no tipo climático Cfa (Subtropical úmido) que apresenta as seguintes características: temperatura média acima dos 10°C nos meses mais quentes e acima de 0°C no mês mais frio, porém abaixo dos 18°C com 4 estações bem definidas; Precipitação bem distribuída ao longo do ano entre 1600 - 1900 mm (ALVARES *et al.*, 2014).

Segundo o gradiente eólico, na primavera e verão há ocorrência dos ventos com maior potencial erosivo, com direção predominante de SE. Sendo que, nessa época os ventos secos provindos de Norte são mais fortes podendo haver até época de ocorrência de nuvens de areias suspensas. Podemos relacionar como ventos principais, os dos quadrantes NO-NE e S SO. Nos meses de outono-inverno é registrado o período com menor velocidade dos ventos, com direção predominante no quadrante sul (VERDUM apud VIERA, 2012).

A arenização no sudoeste do RS destaca-se como um processo para o qual fatores naturais como temperatura, precipitação, vegetação, solo, substrato rochoso, relevo e depósitos arenosos recentes contribuem de forma significativa para o desencadeamento e avanço deste fenômeno sobre a campanha gaúcha (VIEIRA, 2012). Assim a ocorrência dos areais esta associada ao substrato arenoso com cobertura vegetal original de campos que sofre com a intensificação do processo de escoamento concentrado, característico do clima úmido.

Segundo Verdum *et al.* (2004), a região de estudo possui três diferentes formações vegetais: campos limpos do alto planalto e nas colinas suaves da depressão periférica; a mata de galeria nos vales úmidos e remanescentes florestais nas bordas do Planalto e nos relevos tabulares da depressão periférica. Como se pode observar na figura (figura 17) no Brasil o único estado onde ocorre o Bioma Pampa é o Rio Grande do Sul, sendo a área de ocorrência do bioma de aproximadamente 178.000 km² (CRS/IBAMA 2010), representando cerca de

60% da área total estadual. A vegetação que mais se destaca no quadro natural formada por campos de gramíneas e por vezes aparecem matas de galerias.

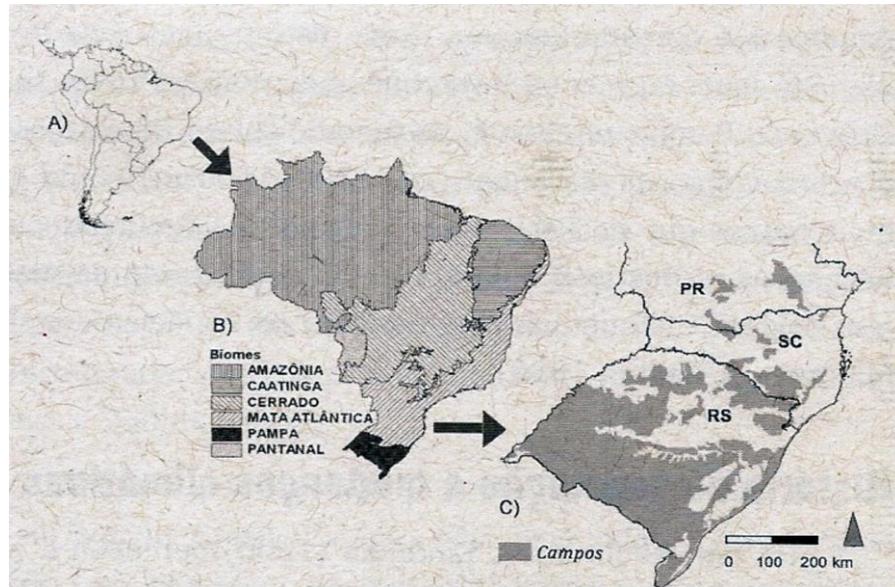


Figura 17 Localização dos campos no Sul do Brasil: (a) visão geral da América do Sul (b) o Brasil e a classificação oficial dos Biomas brasileiros, segundo o IBGE (2004) e (c) distribuição dos campos na região sul do Brasil. (OVERBECK, 2009).

Trabalhos biogeográficos vêm pleiteando que a terminologia aplicada às formações campestres ocorrentes no Rio Grande do Sul, encontram-se equivocadas. Segundo Soriano *et al.* (1992) e Dinerstein *et al.* (1995) apud Macedo (2011) as formações campestres do rio da Prata incluem duas ecorregiões: Pampa, com distribuição pela Argentina e campos com ocorrência no Uruguai, nordeste da Argentina e sul do Brasil, sendo estas consideradas as atualizações mais recentes sobre a florística da região (figura 18).

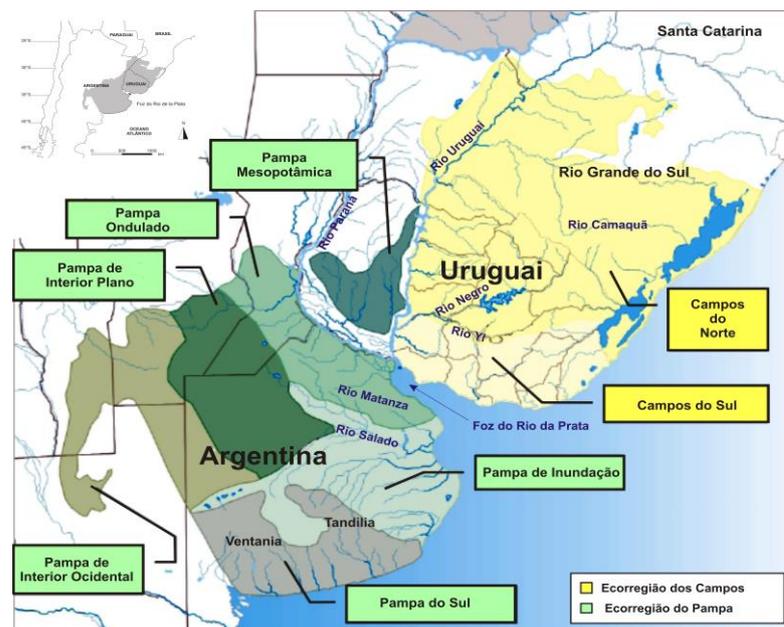


Figura 18 Mapa de localização das mesorregiões e unidades ecológicas do Rio da Prata que compõem os campos e o pampa. Modificado de Macedo (2011).

Desta forma observa-se que a denominação das formações vegetais, da área de estudo sobre divergência de nomenclatura para alguns autores, sendo por alguns sendo chamada de pampa e pra outros campos. Contudo optou-se por adotar a nomenclatura local bioma pampa utilizada por autores como Suertegaray *et al.* (2001), devido a sua concepção mais ampla, que envolve a representação cultural e que já vem sendo adotado por grupos de pesquisa na área (figura 19).



Figura 19 Abrangência do Bioma Pampa. Fonte: Suertegaray & Silva (2009).

Sendo assim, os areais no sudoeste do Rio Grande do Sul são interpretados a partir de estudos geomorfológicos, associados à dinâmica hídrica e eólica, o que indica que eles resultam, inicialmente, de processos hídricos. Estes processos estão relacionados com uma topografia favorável que permite, numa primeira fase, a formação de ravinas e voçorocas. Estas, em seguida, por erosão lateral e regressiva, ampliam-se, conseqüentemente, alargando suas bordas. Através desta dinâmica, conclui-se que inicialmente os areais resultam de processos hídricos superficiais que provocam, em particular, escoamentos concentrados formando ravinas e voçorocas. Essas transportam e ampliam as áreas descobertas gerando novos areais, que em contato com o vento sofrem contínua remoção (SUERTEGARAY, 1987; VERDUM, 1997; SUERTEGARAY *et al.*, 2001).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho de campo foi realizado no outono, de 1-3 de maio de 2014. As amostras foram coletadas com a ajuda de uma placa de Petri invertida, para garantir uma profundidade máxima de 2 cm e o mesmo volume para todas as amostras (figura 20), conforme método previamente descrito por [Zaady \(2010\)](#) e Gundlapally & PICHEL (2006).

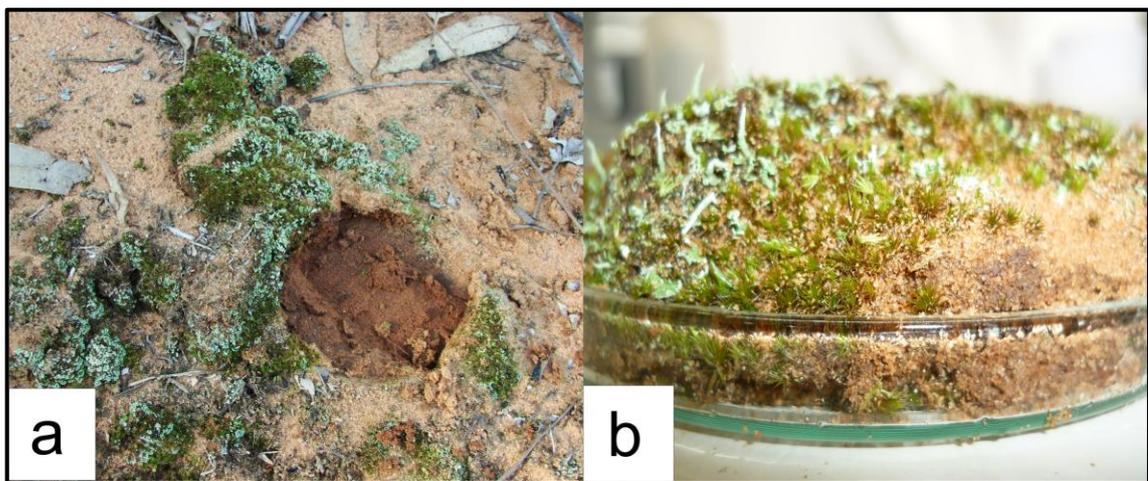


Figura 20 a) Local de coleta no areal Deserto de São João, Alegrete – RS. b) Amostra coletada em Placa de Petri (vista equatorial).

Optou-se por coletar amostras de três estágios de sucessão: a) com focos iniciais de colonização de cianobactérias; b) com início de associação entre cianobactérias e outros componentes musgo ou líquens; c) crosta bem constituída com aparência já de tapetes de musgo (Figura 21).

A preparação para a etapa laboratorial ocorreu a partir de visualização de manchas por estereoscópio com aumentos de 100 vezes. A observação das cianobactérias foi precedida de reidratação do material, colocando em placas de Petri contendo água destilada.

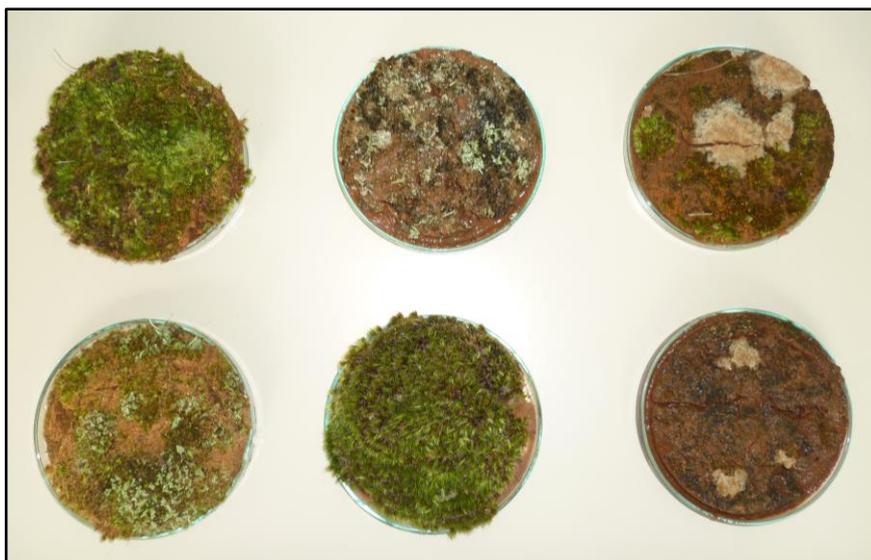


Figura 21 Amostras coletadas. Da esquerda para direita: Areal Deserto de São João (Alegrete), Areal Morro da Esquina (São Francisco de Assis), Areal Dona Irene (São Francisco de Assis).

Em virtude da maior parte do material a ser estudado contar com densos emaranhados, contendo detritos, hifas de fungos, partículas de solos e cianobactérias, foi necessária a separação prévia dos espécimes, com lupa em placa de Petri e água destilada e auxílio de pinças e agulhas histológicas.

Parte das amostras foi preservada com formalina 4% e guardadas em potes de vidro de 100 ml e foi mantida viva sob refrigeração. As amostras serão tombadas no Herbário Alarich Schultz - HAS do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (MCN-FZB).

As análises taxonômicas foram feitas na Seção de Botânica de Criptógamas do MCN-FZB, em microscópio óptico binocular de marca Carl Zeiss Oberkochen, modelo GFL óptico, com aumentos de 400 e 1.000 vezes e lupa estereoscópica. (Figura 22).

Os registros fotográficos foram feitos com câmera digital, ajustada diretamente à ocular do microscópio. Os estudos morfológicos e identificação das cianobactérias foram realizados a partir de espécimes vivos.



Figura 22 Equipamentos utilizados para separação do material e análise: lupa estereoscópica (à esquerda) e microscópio óptico binocular (à direita).

Os caracteres analisados para a avaliação morfológica e estudo taxonômico foram:

- Caracterização dos talos;
- Presença ou ausência, forma, dimensões e coloração da bainha mucilaginosa;
- Estrutura do tricoma e quantidade de tricomas por bainha;
- Forma e ápice do tricoma;
- Forma e dimensões celulares;
- Presença ou ausência e disposição de heterocitos;
- Presença ou ausência e disposição de acinetos.

Foram feitas observações de cinco lâminas por segmento nas amostras. Foram obtidas medidas celulares de espécimes encontrados, com a finalidade de suas identificações. Para a classificação dos táxons foi adotado o sistema de Hoffmann *et al.* (2005).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Cianobactérias Identificadas

A partir da análise de seis amostras foram identificados 11 morfotipos de cianobactérias, destacando-se espécies filamentosas, incluindo 81,8% dos táxons registrados. Dentre estes, 55,5% eram filamentosas homocitadas (não hererocitadas) e 44,5% eram heterocitadas.

Na tabela 2 é apresentada a sinopse das cianobactérias encontradas nas crostas biológicas de solo estudadas e a figura 24 ilustra os exemplares destes táxons. No quadro que a seguir é apresentada a sinopse das cianobactérias identificadas nas crostas biológicas de solo estudadas.

Tabela 2. Sinopse de resultados obtidos

Subclasse	Família	Gênero	Espécie	Local
	<i>Cyanobacteriaceae</i>	<i>Gloeothece</i>	sp.	Areal Cerro da Esquina
	<i>Oscillatoriaceae</i>	<i>Lyngbya</i>	sp.	Areal Cerro da Esquina
Oscillatoriophyceae		<i>Microcoleus</i>	sp.	Areal Cerro da Esquina
	<i>Phormidiaceae</i>	<i>Porphyrosiphon</i>	<i>notarisii</i>	Areal deserto de São João; Areal Dona Irene
		<i>Symplocastrum</i>	sp.	Areal deserto de São João;
	<i>Hapalosiphonaceae</i>	<i>Hapalosiphon</i>	sp.	Areal deserto de São João
	<i>Rivulariaceae</i>	<i>Calothrix</i>	sp.	Areal Cerro da Esquina
Nostocophycidae	<i>Scytonemataceae</i>	<i>Scytonema</i>	sp.	Areal Cerro da Esquina
				Areal deserto de São João;
	<i>Stigonemataceae</i>	<i>Stigonema</i>	sp.	Areal Cerro da Esquina; Areal Dona Irene.
	<i>Schizotrichaceae</i>	<i>Schizothrix</i>	sp.	Areal Cerro da Esquina
Synechococcophycidae	<i>Synechococcaceae</i>	<i>Aphanothece</i>	sp.	Areal Cerro da Esquina

Stigonema sp., observada em todas as amostras analisadas, aparentemente apresenta um papel de potencializador na agregação de partículas (figura, 23). Formando manchas pretas a verdes escuros sobre o solo, o que sela a mobilidade de sedimentos para ventos e chuvas fracas a médias. Outra cianobactéria, aparentemente agregadora de partículas, encontrada foi *Microcoleus* sp. Dentre as análises realizadas nas CBS coletados, nas amostras do Deserto de São João em Alegrete, foi encontrada uma maior riqueza de populações tanto em presença por táxon, quanto diferença de gêneros.

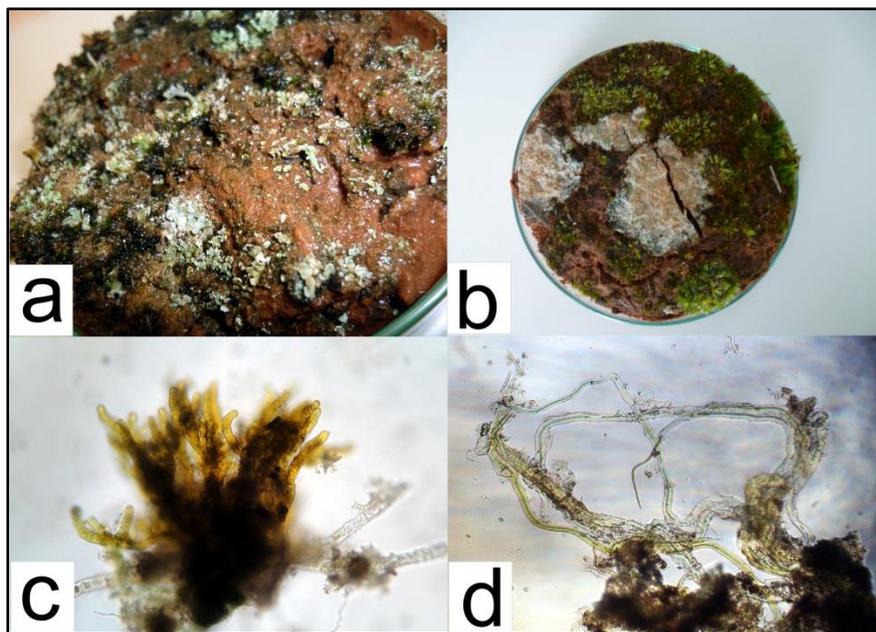


Figura 23 a) Amostra coletada com manchas verdes escuras de *Stigonema* sp. Areal Cerro da Esquina b) Amostra com predominância de manchas pretas e líquens do Areal Dona Irene. c) Cianobactérias *Stigonema* sp agregadas a partículas de solos. d) *Microcoleus* sp. agregados a partículas de solos.

O gênero que se fez representado em todas as amostras, foi o *Stigonema* sp. que ocorreu com maior expressividade. As espécies subsuperficiais encontradas se fazem mais raras aparecendo poucas vezes com tamanhos milimétricos, com baixa preservação e de difícil interpretação devido a sua transparência e tamanho, ocorrendo diferenças entre táxons de amostra para amostra.

Nas amostras do areal Dona Irene em São Francisco de Assis, foi possível verificar nas camadas superficial e subsuperficial, uma predominância apenas de *Stigonema* sp. e algumas populações de *Porphyrosiphon notarissi* Kützing ex Gomont.

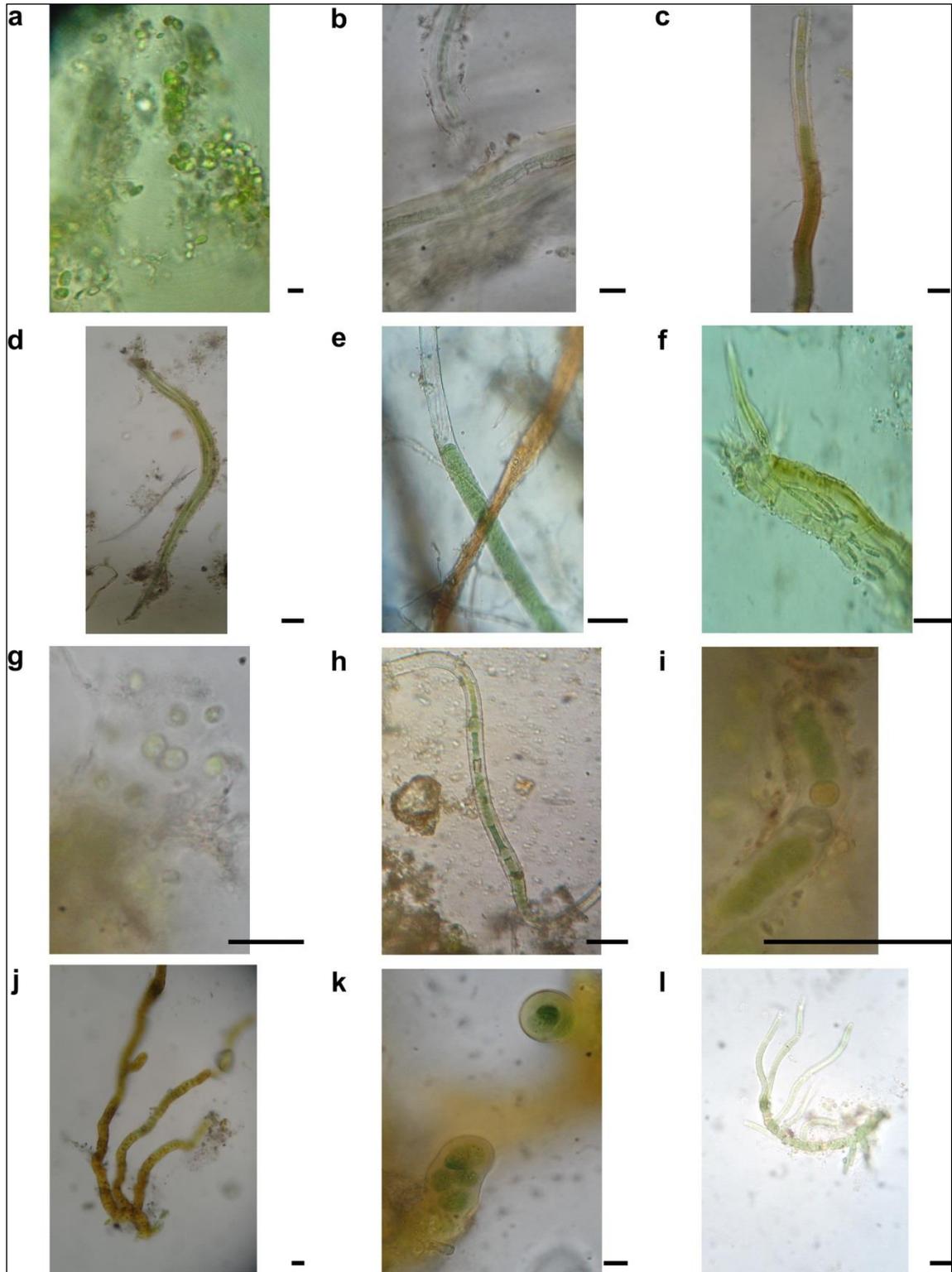


Figura 24 a) *Aphanotece* sp.; b) *Schizothrix* sp.; c) *Phorphyrosiphon notarisii*; d) *Symplocastrum* sp.; e) *Lyngbya* sp.; f) *Microcoleus* sp.; g) *Gloeothece* sp.; h) *Scytonema* sp.; i) *Calothrix* sp.; j) *Stigonema* sp.; k) parte de uma *Stigonema* sp.; l) *Hapalosiphon* sp. Fotos com aumento de 40 e 100 vezes.

5.2. Locais de ocorrência das crostas biológicas de solos nos areais

A ocorrência de crostas biológicas de solo nos areais se fizeram presentes principalmente nas bordas ou em substratos próximos aos mais consolidados, que ainda possuem algum tipo de resistência, especialmente em locais propícios a acumular umidade, como topo de relevo e vertente sul.

No primeiro ponto de coleta, Deserto de São João (29°42'35.48"S e 55°25'13.47"W) em Alegrete, as CBS se encontravam em um local de contato entre o arenito mais consolidado e o areal (figura 25a), entretanto, na área destinada a silvicultura, encontramos crostas abaixo dos eucaliptos num transepto de umidade e luz entre as fileiras plantadas. Também destacamos nas microfeições de relevo outra possibilidade de visualização das crostas em pedestais “demoseilles” (figura 25b), as quais possuem em seu dorso superior, pacotes de crostas como elementos vegetativos, que auxiliam na resistência dessas feições, devido à estabilidade dos grãos, favorecida.

No segundo ponto de coleta no areal pertencente à propriedade da Dona Irene (29°30'54.98"S e 55° 7'23.07"W) em São Francisco de Assis, as CBS foram localizadas nos topos das ravinas ou nas porções mais altas das mesmas, sendo locais com menor mobilidade de sedimentos e, conseqüentemente, substrato mais estável. Contudo, somente com análise mais aprofundada, será possível saber se a colonização das crostas é posterior ou anterior à ruptura do solo e desencadeamento do processo erosivo no relevo e o quanto essas estruturas podem, ou não, contribuir para o sistema (figura 25c). Também foram encontradas crostas sobre pedestais formando uma cobertura pinacular em algumas vertentes.

No terceiro ponto de coleta de crostas no areal Cerro da Esquina (29°23'58.85"S e 55°13'37.60"W), São Francisco de Assis – RS, observou-se o surgimento mais recente dessas crostas, que provavelmente ocupou as vertentes, após a estabilização da ravina. São encontradas na porção mais central da ravina e com aspecto bem inicial (Figura, 25d).

Podemos mensurar, previamente, pelos dados coletados, que as CBS nos areais estão relacionadas com a paisagem de interfase entre as áreas que ocorrem distúrbios, em locais com disponibilidade de umidade sobre o solo e com relativa posição solar, especialmente em topos de ravinas expandindo-se pelas vertentes mais consolidadas. Podem apresentar feições de cobertura mais suaves a blocos pedunculados, tendo os musgos e líquens como seus organismos principais para o reconhecimento de crostas em sistema areal.

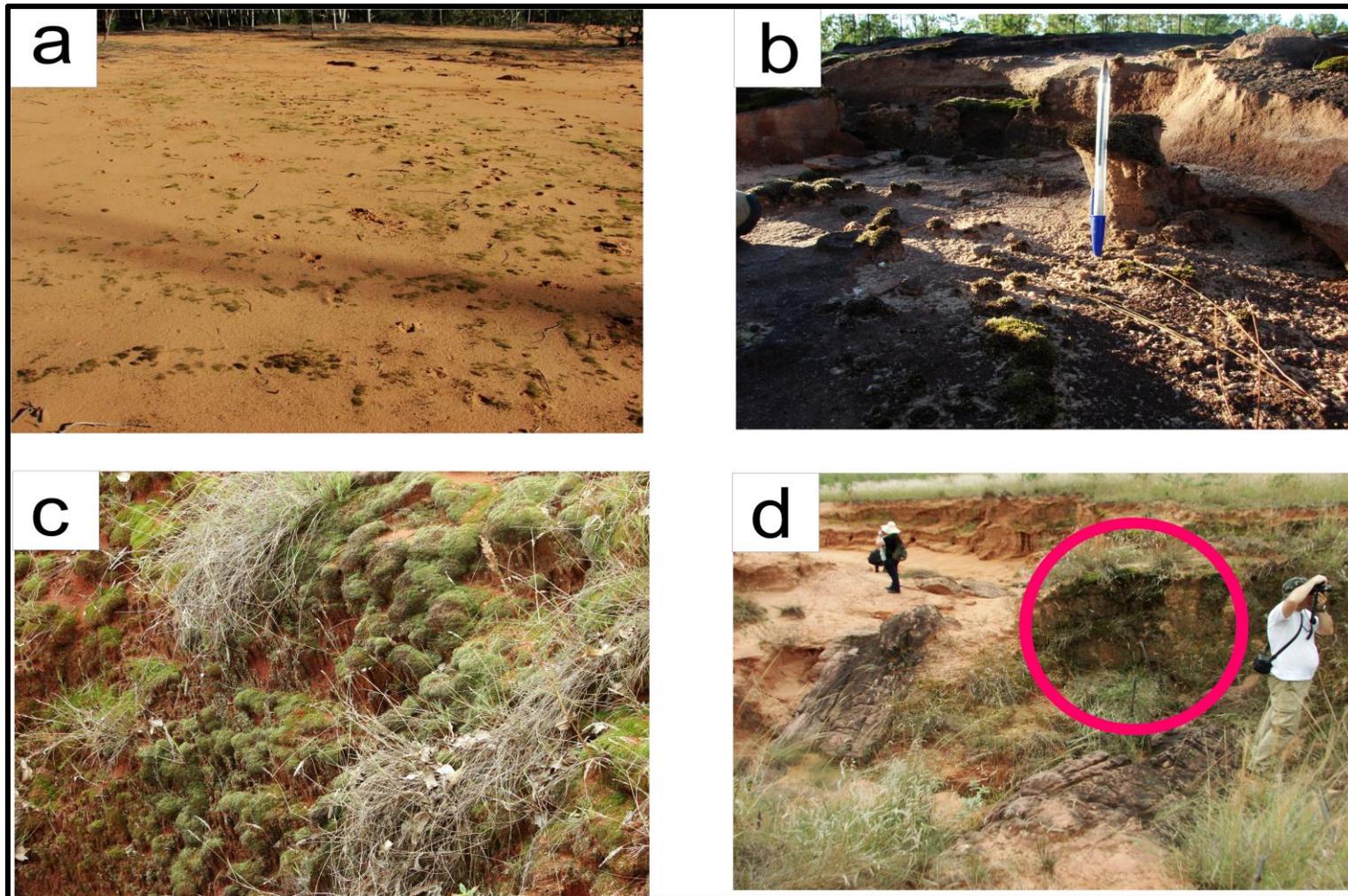


Figura 25 a) Forma de ocorrência das CBS no areal Deserto de São João, Alegrete- RS. b). Forma de ocorrência das CBS no areal Deserto de São João, Alegrete – RS, no topo de pedestais, “demoseilles”, onde, aparentemente, auxiliam na resistência desses pedestais. . c) Forma de ocorrência das CBS no areal Dona Irene, no topo de pedestais, formando uma cobertura pinacular na vertente sul da ravina. d) Forma de ocorrência da CBS no areal Cerro da Esquina na vertente formando uma cobertura mais suave e incipiente de crostas.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram a maior ocorrência de cianobactérias filamentosas, tanto homocitadas como heterocitadas. Dentre essas, a mais presente em todas as amostras foi a heterocitada *Stigonema* sp. que se fez bem representada em número expressivo de organismos em todas as amostras estudadas, tanto em parcelas superficiais como subsuperficiais. Entretanto, nota-se uma diminuição de representantes quando a crosta encontra-se em estados mais desenvolvidos, dominadas por briófitas.

Dentre os táxons encontrados, *Hapalosiphon* sp., normalmente encontrada em meio aquático, emaranhadas em outras plantas ou sobre o solo, porém ainda não relatada na literatura consultada sobre CBS, sendo este o primeiro registro mundial de ocorrência da espécie em crostas biológicas. Além desta, *Gloeothece* sp. e *Aphanothece* sp. são citadas em outros estudos de CBS, contudo ainda não haviam sido documentadas para a América do Sul.

Quando analisada a localização das crostas nas feições do relevo, observa-se a ocorrência das mesmas em locais mais úmidos, tomando as mesmas posições em todos os compartimentos de relevo, ou seja, topo das ravinas ou parte superior e mais estabilizada das vertentes, especialmente a sul.

Levando em conta a cobertura das crostas, podemos reconhecer feições suaves a blocos pedunculados, o que nos mostra a possibilidade de alteração micro estrutural de cobertura vegetal do relevo.

Com base na importância das cianobactérias como organismos pioneiros e de sua plasticidade biogeográfica, destaca-se a necessidade de maiores estudos dessas comunidades no Brasil devido ao pouco que se conhece em vista do potencial existente, constituindo-se este, o primeiro estudo de crostas biológicas de solo para o Rio Grande do Sul.

Assim os BSCs desempenham papel ecológico importantíssimo em ambientes áridos e semi-áridos com passado climático semelhantes aos das áreas dos atuais areais, áreas estas reconhecidas e protegidas em muitos países do mundo como berso de biodiversidade para estudo e como necessidade de preservação ambiental, devida a biodiversidade e pouco estudo existente o que se faz conhecimento de caráter fundamental para a preservação do planeta.

7. REFERÊNCIAS

- ABD-ALLA, M. H.; A.-L. E. MAHMOUD. *Cyanobacterial biofertilizer improved growth of wheat*. *Phyton* 34: 11-18, 1994.
- A phycology group at the Department of Botany, University of South Bohemia, České Budějovice: <http://www.phycology.cz/>. Acesso em 25 de setembro de 2014.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; MORAES, J.L.M.G.; SAPAROVEK, G. *Köppen's climate classification map for Brazil*. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 22, N. 6, 711–728. 2014.
- AZEVEDO, M.T.P. *Edaphic blue-green algae from de São Paulo Botanical Garden, Brazil*. *Algologica Studie* 64: 503-526, 1991.
- BELNAP, J. *Surface disturbances: their role in accelerating desertification*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 37: 39-57, 1995.
- BENALP, J.; ELDRIDGE, D.; KALTENECKER J.R.; LEONARD, S.; ROSENRETER R.; WILLIAMS, J. *Biological soil crusts: ecology and management*. Denver: USDI-BLM 2001. (Technical Reference 1730-2).
- BELNAP, J.; BÜDEL, B.; LANGE, O.L. *Biological soil crusts: structure, function, and management*. Springer-Verlag: Berlin, 2003. 503 p.
- BENALP, J. *The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles*. *Hydrol. Process.* 20: 3159–3178, 2006.
- BOWKER, M.A.; MAESTRE, F.T.; ESCOLAR, C. *Biological crusts as a model system for examining the biodiversity-ecosystem function relationship in soil*. *Soil Biology and Biochemistry*. Volume 42: 405-417, 2010.
- BOOTH, W.E. *Algae as pionners in plant sucession and the importance in erosion control*. *Ecology* 22: 38-46, 1941.
- BÜDEL, B. *Synopsis: comparative biogeography of soil-crust biota*. *Ecological Studies* 150, Springer: Berlin, 141 – 152, 2001.
- BÜDEL, B. *Microorganisms of Biological Crusts on Soil Surfaces*. Springer: 307-323, 2005.
- BÜDEL, B.; COLESIE, C.; GREEN, T.G.A.; GRUBE, M.; LAZARO-SUAU, R.; LOEWEN-SCHNEIDER, K.; MAIER, S.; PEER, T.; PINTADO, A.; RAGGIO, J.; RUPRECHT, U.; SANCHO, L.; SCHROETER, B.; TÜRK, R.; WEBER, B.; WEDIN, M.; WESTBERG, M.; WILLIAMS, L.; ZHENG, L. *Improved appreciation of the functioning and importance of biological soil crusts in Europe: the Soil Crust International Project (SCIN)*. *Biodivers Conserv*: publicado online em março de 2014.

CARRAPIÇO, F. (coord.); TEIXEIRA, G & DINIZ, M.A. Azolla. Projecto de Cooperação, FCUL / DBV, 1 CD-ROM, 1996.

CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; DIAS, M.A.F.; JUSTI DA SILVA, M.G.A. (Organizadores). *Tempo e Clima no Brasil*. Editora: Oficina de Textos. 2009. Center for freshwater Biology – University of New Hampshire- Durham – USA: <http://cfb.unh.edu/>. Acesso em 12 Agosto de 2014.

CONDE, F.R.; CHURIO, M.S. & PREVITALI, C. M. *The photoprotector mechanism of mycosporine-like amino acids. Excited-state properties and photostability of porphyra-334 in aqueous solution*. *Jornal Photochemistry and Photobiology. Biology* 56: 1939-144, 2000.

ELDRIDGE, D.J; GREENE, R.S.B. *Macrobiotic soil crusts: a review of their roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia*. *Australian Journal of Soil Research* 32: 389-415, 1994.

FIGUEIREDO, D. R.; AZEITEIRO, U. M.; ESTEVES, S. M.; GONÇALVES, F. J.; PEREIRA, M.J. *Microcystin-producing blooms-a serious global public health issue*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.9, n.2, p.151-163, 2004.

FISCHER, T.; VESTE, M.; SCHAAF, W.; DÜMIG, A.; KÖGEL-KNABNER, I.; WIEHE, W.; BENS, O.; HÜTTL, R.F. *Initial Pedogenesis in a topsoil crust 3 years after construction of an artificial catchment in Brandenburg, NE Germany*. *Biogeochemistry*, 101: 1-3; 165-176, 2010.

GAMA, W.A.Jr. *Cianobactérias unicelulares e coloniais de ambientes de áreas da Mata Atlântica no estado de São Paulo, Brasil*. 2012, 160 f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Botânica da secretaria de estado e meio ambiente, São Paulo, 2012.

GRANHALL, U. *Nitrogen fixation by blue-green algae in temperate soils*, p. 189-198. In: Stewart WDP (ed.) *Nitrogen Fixation by Free-living Microorganisms*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. 189-198, 1975.

GUASSELLI, L.A.; EVERS, H.; OLIVEIRA, M.G.; SUERTEGARAY, D.M.A. *Definições dos padrões de formas de vertentes relacionadas com ocorrências de areais, através de dados geomorfométricos, em sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí-RS*. In: *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal, 2009, p. 3867 - 3874.

GUNDLAPALLY, S.R; PICHEL, F.G. *The Community and Phylogenetic Diversity of Biological Soil Crusts in the Colorado Plateau Studied by Molecular Fingerprinting and Intensive Cultivation*. *Microbial Ecology Volume*, 52: 345–357, 2006.

JEFFREY, R.J; RUSHFORTH, S.R. *Cryptogamic soil crusts: seasonal variation in algal population in the Tintic Mountains, Juab County, Utah*. *Western North American Naturalist*, Volume, 45: 1985.

JEFFREY, R.J; SHUBERT, E. *Algae in soil*. *Nova Hedwigia, Beiheft* 123, 297-306, 2001.

JOHANSEN, R.J; RUSHFORTH, R. *Cryptogamic soil crusts: seasonal variation in algal populations in the tinto mountains, Utah*. The Great basian naturalist, vol: 45, N.1 14-21, 1985.

HARMAN, W.W.; SAHTOURIS E. *Biologia Revisada*. Cultrix/Willis Harman House, 2003.

HOEK, C.V.D.; MANN, D.G; JAHMS H.M. *Algae: an introduction to phycology* Cambridge: Cambridge University, 1995.

HOFFMANN, L.; KOMÁREK, J.; KASTOVSKY, J. *System of cyanoprokaryotes (cyanobacteria) – state in 2004. Algological Studies (Cyanobacterial Research)*, v. 117, p. 95-115, 2005.

KOMÁREK, J. & ANAGNOSTIDIS, K. *Cyanoprokaryota. 1. Teil: Chroococcales*. – In: Ettl, H.; Gärdner, G.; Heying, H. & Mollenhauer, D (eds): *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, vol. 19/1. – 548 pp., Gustav Fischer, Jena–Stuttgart–Lübeck– Ulm. 1998.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. *Cyanoprokaryota 1. Teil: Oscillatoriales*. In: BÜDEL, B.; KRIENITZ, L.; GÄRTNER, G; SCHAGERL, M. (Edes.). *Süßwasserflora von Mitteleuropa* 19/2, Heidelberg: Elsevier/Spektrum Akademischer Verlag, 2005. 759p.

KOMÁREK J. *CyanoDB.cz - On-line database of cyanobacterial genera*. - Word-wide electronic publication, Univ. of South Bohemia & Inst. of Botany AS CR, <http://www.cyanodb.cz>. 2013.

LEWIS, L. A. WILCOX, L. W. *Concordance of molecular and ultrastructural data in the study of zoosporic chlorococcalean green algae*. Journal of Phycology 28: 375-380, 1992.

MACEDO, R.B. **Palinologia de depósitos holocênicos na região da campanha (São Gabriel)**, Rio Grande do Sul, Brasil. 2011 Projeto de Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PAINTER, T. J. *Carbohydrate polymers in desert reclamation: the potential of microalgal biofertilizers*. Carbohydrate Polymers 20: 77-86. 1993.

PICOLI, Luciana; VILLANOVA, Carla. *O Pampa em disputa. A biodiversidade ameaçada pela expansão das monoculturas de árvores*. Publicação do Núcleo Amigos da Terra/Brasil e Federação Internacional dos Amigos da Terra, Julho de 2007. 64p. Disponível em: <http://www.natbrasil.org.br/Docs/monoculturas/cartilha_pampa_emdisputa.pdf> Acesso em: 21 nov.2014.

ROSENTERETER, R; BOWKER, M; BELNAP, J. *A Field Guide to Biological Soil Crusts of Western U.S. Drylands*. U.S. Government Printing Office, Denver: Colorado, 2007.

SCHLICHTING, Jr. H.E. *Some subaerial algae from Ireland*. Br. Phycol. J. Plymouth, 10: (3) 257-61, 1975.

SCHERER, C.M.S. *Eolian dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in southernmost Brazil: morphology and origin*. Sedimentary Geology, 137 (3/4): 63-84. 2000.

SCHERER, C.M.S. & LAVINA, E.L. *Sedimentary cycles and facies architecture of aeolian-fluvial strata of the Upper Jurassic Guar Formation, southern Brazil*. *Sedimentology*, 32:1323-1341, 2005.

SUERTEGARAY, D.M.A. **A Trajetória da Natureza: Um estudo geomorfológico sobre os areais de Quarai – RS**. 1987, 243 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SUERTEGARAY, D.M.A. *Deserto Grande do Sul: Controvérsias* 2 ed. Porto Alegre: Ed. Da Universidade, UFRGS, 1998. 109p.

SUERTEGARAY, D.M.A.; GUASSELLI, L.A.; VERDUM, R. (Orgs); BASSO, L.A.; MEDEIROS, R.V.M.; MARTINS, R; ROSSATO, M.S; BELLANCA, E.T; BERT, A.M. DE A. *Atlas da arenizao sudoeste do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da coordenao e do planejamento e secretaria da ciência e tecnologia. Governo do Estado do RS, 2001. 84p.

SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. *Tchê Pampa: histórias da natureza gaúcha in: PILLAR, V.D.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.; JACQUES, A.V.A.* (Org). Campos Sulinos: Conservao e Uso Sustentável da Biodiversidade. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. 403.p. p. 42-59.

SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P.; GUASSELLI, L.A. *Arenizao: Natureza Socializada*. Compasso- Lugar-Cultura: Imprensa Livre, Porto Alegre, 2012.

OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S.C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V.D.; BLANCO, C.C.; BOLDRINI, I.I.; FORNECK, E.D. *Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado in: PILLAR, V.D.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.; JACQUES, A.V.A.* (Org. Campos Sulinos: Conservao e Uso Sustentável da Biodiversidade. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. 403.p. p. 26-41.

PARRA, O. & BICUDO, C.E.M. *Algas de aguas continentales: Introducción a la Biología y sistemática*. Ediciones Universidad de Concepción. 1996.

VERDUM, R. **Approche Geographique ds deserts dans les communes de São Francisco de Assis et Manuel Viana, tat du Rio Grande do Sul, Brésil**. 1997 Tese (Doutorado) – Universit de Toulouse-Le-Mirail, UFR de Geographie et Aménagement, Toulouse.

VERDUM, R., BASSO, L.A. *Arenizao na campanha gaúcha: mudanças na produo e degradao dos solos e das águas superficiais*. In: X Congresso Mundial de Sociologia Rural e XXXVIII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural. Rio de Janeiro, 2000, 9p.

VERDUM R. *Depressão Periférica e Planalto. Potencial ecológico e utilizao social da natureza* In : VERDUM R., BASSO L.A., SUERTEGARAY D.M.A. (Orgs). Rio Grande do Sul – paisagem e territórios em transformao. Porto Alegre : Editora da UFRGS, 2004, 1ed., v.1., p. 39-57.

VESTE, M. *The Role of Biological Soil Crusts on Desert Sand Dunes in the Northwestern Negev*. Published in: BRECKLE, S.W; VESTE, M; WUCHERER, W. (eds). *Sustainable Land-Use in Deserts*. Springer: Heidelberg, Berlin - New York, pp 357-367, 2001.

VESTE, M. *The Importance of Biological Soil Crusts for Rehabilitation of Degraded Arid and Semi-arid Ecosystems*. Science of Soil and Water Conservation 3(3): 60-65, 2005.

VIEIRA, C.L. **Emprego de técnicas mecânico vegetativas em ravinamento no Areal em São Francisco de Assis – Sudoeste do Rio Grande Do Sul**. 2012, 164 f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Curso de pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

WATANABE, I.; LEE, K. K. Seasonal change of N₂-fixing rate in rice field assayed by in situ acetylene reduction technique. I. Experiments in long-term fertility plots. Soil Sci. Plant Nutr. 24(1): 1-13. 1978.

WEBER, B. DEUTSCHEWITZ, K.; SCHUKTZ, C.; DOJANI, S.; BÜDEL, B. *Development and implementation of remote sensing techniques for long-Term Monitoring of Biological Soil Crusts(Bscs) – Utilizations of Chris Proba for pscaling and classification*. In 3rd CHRIS-Proba Workshop ESRIN, Frascati, Italy. (2008).

WERNER, V.R. **Cyanophyceae/Cyanobacteria no sistema de lagoas e lagoas da Planície Costeira do estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. 363f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas – Biologia Vegetal) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

WHITTON, B.A.; POTTS, M. *The ecology of Cyanobacteria. Their diversity in time and space*. Dordrecht: Kluwer Academic, 2000. 669p.

ZAADY, E; BEN-DAVID, E.A; SHER, Y; TZIRKIN, R; NEJIDAT, A. *Inferring biological soil crust successional stage using combined PLFA, DGGE, physical and biophysiological analyses*. Soil Biology & Biochemistry, 42: 842-849, 2010.