



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA
PÓS GRADUAÇÃO EM GERENCIAMENTO COSTEIRO

Laís Belsito Pestana

GEOQUÍMICA DA PAISAGEM DA RESTINGA DA LAGOA DOS PATOS (RS)

Rio Grande, 2017.



Laís Belsito Pestana

GEOQUÍMICA DA PAISAGEM DA RESTINGA DA LAGOA DOS PATOS (RS)

Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Gerenciamento Costeiro da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gerenciamento Costeiro. Projeto inserido na linha de pesquisa de Caracterização e Diagnóstico de Sistemas Marinhos e Costeiros.

Orientador: Prof. Dr. Nicolai Mirlean

Rio Grande, 2017.



AGRADECIMENTOS

Primeiramente, ao meu orientador Dr. Nicolai Mirlean por ter dedicado a mim a sua orientação, aceitando o meu projeto, e por toda a paciência e dedicação; minha gratidão.

Aos professores que aceitaram participar da banca examinadora contribuindo com a melhoria deste trabalho, Dr. Douglas Bento, Dr. Carlos Roney Tagliani e Dr^a. Maria Isabel Machado.

Ao professor Dr. Marcelo Dutra da Silva, pela participação na etapa de qualificação do projeto. Ao professor Gilberto Griep e, novamente, à Dr^a. Maria Isabel Machado pela dedicação ao PRH-27.

A FURG e ao Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento Costeiro por toda a estrutura e pelos recursos disponibilizados. Ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH/27 ANP pela bolsa.

Ao Laboratório de Geoquímica e a todo o núcleo de Oceanografia Geológica (LOG) pela estrutura e apoio logístico sem os quais o projeto não seria viável. Um agradecimento especial à técnica Me. Elisa Rosa Arraché. A todos os colegas do laboratório e do LOG que tornaram as rotinas de trabalho muito mais agradáveis; aos colegas e professores do PPGC pelas vivências durante as aulas.

A todos os servidores e funcionários que trabalham na FURG, tornando nosso dia a dia tão agradável dentro do campus. Muito obrigada a todos os inúmeros jardineiros, faxineiras, secretários, bibliotecárias, motoristas, vigias e etc. que trabalham arduamente para manter a nossa universidade funcionando.

Aos meus pais, e aos meus sogros, pelo amor e compreensão, por todo o apoio sem o qual não seria possível que eu tivesse chegado até essa etapa. Ao meu querido companheiro, Me. Rafael Martins, igualmente fundamental no processo. Obrigada a todos os amigos.

RESUMO

A Restinga da Lagoa dos Patos (RLP), uma das maiores do país, é o ecossistema constituído pela península que isola a Lagoa dos Patos (LP) do Oceano Atlântico, abrangendo os municípios de São José do Norte, Tavares, Mostardas e Palmares do Sul. As mudanças ocasionadas pelas perspectivas de diversificação da econômica regional, como a instalação de empreendimentos navais em ambas as margens do estuário da LP, trarão à região uma série de impactos socioeconômicos e ambientais. Ações para um melhor planejamento territorial demandam a ampliação de conhecimentos sobre a organização estrutural e funcional desses ecossistemas. O objetivo do presente estudo foi determinar as características geoquímicas e classificar a RLP de acordo com a classificação das paisagens geoquímicas. A geoquímica da paisagem tem por objetivo a caracterização e classificação das paisagens sob o ponto de vista da migração de elementos químicos. Esta classificação está baseada em parâmetros biogeoquímicos como a biomassa vegetal e a migração dos elementos entre os componentes da paisagem (solo, água, vegetação). Este é o primeiro estudo de classificação geoquímica da paisagem realizado no Brasil. Para tal foram determinadas a biomassa e a produtividade anual média da vegetação da paisagem autônoma da RLP (matas e campos nativos, representando respectivamente 28 e 72 % da cobertura vegetal). A biomassa média foi estimada em 697,2 dt ha⁻¹ e produtividade anual em 372,5 dt ha⁻¹ ano⁻¹. A partir desses resultados foi determinada a posição da RLP no esquema de classificação hierárquica das paisagens, em uma posição intermediária entre o grupo das savanas e o grupo dos banhados vegetados por gramíneas. A paisagem da RLP foi nomeada como Pampa subtropical litorâneo. Os solos, sedimentos e águas analisados revelaram concentrações muito baixas para os principais elementos, sendo muito pobres em nutrientes minerais e em matéria orgânica. O baixo *background* geoquímico da região e a migração de elementos entre as paisagens (ainda que pouco intensa) atribuem fragilidade ao ambiente, considerando-se que as áreas naturais da RLP são suscetíveis aos impactos causados por contaminação química.

Palavras-chave: Restinga da Lagoa dos Patos; Pampa; Geoquímica da paisagem.

ABSTRACT

The Restinga da Lagoa dos Patos (RLP), one of the country's largest restingas, is the entire ecosystem between the Lagoa dos Patos (LP) and Atlantic Ocean, comprising the cities of São José do Norte, Tavares, Mostardas and Palmares do Sul. Changes driven by prospects of a regional economic diversification, such as the installation of naval ventures on both margins of the LP estuary, will bring to region socioeconomic and environmental impacts. Actions on improve territorial planning require increased understanding about the structural and functional organization of these ecosystems. The aim of this study was to define the geochemical characteristics of the RLP and to classify it according to the current classification of geochemical landscapes. The landscape geochemistry intends to characterize and classify landscapes focusing on the migration of chemical entities. The classification method based on biogeochemical parameters, such as plant biomass and the migration of elements through the components of landscapes (soil, water resources, flora, etc.). This is the first study employing geochemical classification of landscapes in South America. The averages biomass and annual primary productivity from RLP eluvial landscape (native forests and grass fields, representing respectively 28 and 72 % of vegetal covering). The average biomass estimated was 697.2 dt ha^{-1} and annual primary productivity at $372.5 \text{ dt ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$. From these results was defined the RLP positioning in the landscapes classification, in a middle position between the savannas group and the "banhados" group. The RLP landscape was named as subtropical coastal Pampa. Samples of soils, sediments and waters were analyzed and the results revealed very low concentrations for the main chemical elements, being very poor in nutrients and in organic matter. The low regional geochemical background and the migration of elements through the landscapes (although this movement is not so intensive) give this environment a notable fragility. Therefore, RLP natural areas are quite susceptible to impacts caused by chemical contamination.

Key words: Restinga da Lagos dos Patos, Pampa, Landscape geochemistry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Restinga da Lagoa dos Patos.	10
Figura 2 - Representação dos tipos de paisagens elementares.	14
Figura 3 - Localização da área de amostragem.	18
Figura 4 - Pontos amostrais.	19
Figura 5 - Distribuição dos pontos de amostragem em relação à BR-101.	20
Figura 6 - Materiais usados para coleta e tratamento das amostras de águas.	21
Figura 7 - Perfis de solo.	22
Figura 8 - Amostra de planta.	25
Figura 9 - Amostras de plantas.	25
Figura 10 - Paisagem autônoma.	33
Figura 11 - Posição da Restinga da Lagoa dos Patos na classificação da paisagem (ponto vermelho).	35
Figura 12 - Teor de matéria orgânica no solo (%) da paisagem autônoma.	37
Figura 13 - KK e KD para Co e Cu na paisagem autônoma.	38
Figura 14 - KK e KD para V, Mn, Fe, As, Mo e U da paisagem autônoma.	39
Figura 15 - KD para Cr, Cd e Pb da paisagem autônoma.	39
Figura 16 - KD para Zn na paisagem autônoma.	40
Figura 17 - KD para P na paisagem autônoma.	40
Figura 18 - Paisagem acumulativa superaquática.	43
Figura 19 - Teor de matéria orgânica no solo (%) da paisagem acumulativa superaquática.	44
Figura 20 - KK e KD para Mn, Fe, Co, Cu, As e U na paisagem acumulativa superaquática.	45
Figura 21 - KK e KD para V, Cr, Cd e Pb na paisagem acumulativa superaquática.	45
Figura 22 - KD para Mo na paisagem acumulativa superaquática.	46
Figura 23 - KD para Zn na paisagem acumulativa superaquática.	46
Figura 24 - KD para P na paisagem acumulativa superaquática.	46
Figura 25 - Paisagem acumulativa subaquática.	50
Figura 26 - Teor de matéria orgânica dos sedimentos (%) da paisagem acumulativa.	51
Figura 27 - KK e KD para Mn, Cu e Co nos sedimentos da paisagem acumulativa.	51
Figura 28 - KD para Pb e U nos sedimentos da paisagem acumulativa.	52
Figura 29 - KD para Zn nos sedimentos da paisagem acumulativa.	52
Figura 30 - Espécies presentes nas amostras da paisagem acumulativa.	54
Figura 31 - Biomas do Rio Grande do Sul.	56
Figura 32 - Fisionomias vegetais inseridas no Domínio da Mata Atlântica	58
Figura 33 - Concentração média dos elementos Co, Cu, Zn e U (mg kg^{-1}) nas paisagens.	61
Figura 34 - Concentração média do elemento Pb (mg kg^{-1}) nas paisagens.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Os táxons da classificação geoquímica das paisagens.	15
Tabela 2 - Níveis superiores de classificação geoquímica.	16
Tabela 3 - Pontos de amostragem.	19
Tabela 4 - Área total e relativa ocupada pelos ambientes que compõe a paisagem autônoma da Restinga da Lagoa dos Patos.	28
Tabela 5 - Frequência relativa e dados dendométricos das principais espécies arbóreas da Restinga da Lagoa dos Patos.	30
Tabela 6 - Peso das amostras de plantas ($\text{g } 10 \text{ cm}^{-2}$) coletadas no inverno.	34
Tabela 7 - Peso das amostras de plantas ($\text{g } 10 \text{ cm}^{-2}$) coletadas no verão.	34
Tabela 8 - Teor de cinzas das plantas (%) da paisagem autônoma.	35
Tabela 9 - Parâmetros de classificação da paisagem.	35
Tabela 10 - Água subterrânea da paisagem autônoma.	41
Tabela 11 - Cátions na água subterrânea (mg L^{-1}) da paisagem autônoma.	41
Tabela 12 - Ânions na água subterrânea (mg L^{-1}) da paisagem autônoma.	42
Tabela 13 - Metais na água subterrânea (mg L^{-1}) da paisagem autônoma.	42
Tabela 14 - Metais nas cinzas das plantas (mg kg^{-1}) da paisagem autônoma.	43
Tabela 15 - Água subterrânea da paisagem acumulativa superaquática.	47
Tabela 16 - Cátions na água subterrânea (mg L^{-1}) da paisagem acumulativa superaquática.	47
Tabela 17 - Ânions na água subterrânea (mg L^{-1}) da paisagem acumulativa superaquática.	48
Tabela 18 - Metais na água subterrânea (mg L^{-1}) da paisagem acumulativa superaquática.	48
Tabela 19 - Peso úmido e seco das amostras de plantas ($\text{g } 10 \text{ cm}^{-2}$) da paisagem superaquática.	49
Tabela 20 - Teor de cinzas das plantas (%) da paisagem acumulativa superaquática.	49
Tabela 21. Metais nas cinzas das plantas (mg kg^{-1}) da paisagem acumulativa superaquática.	49
Tabela 22 - Água superficial da paisagem acumulativa.	52
Tabela 23 - Cátions na água (mg L^{-1}) da paisagem acumulativa.	52
Tabela 24 - Ânions na água (mg L^{-1}) da paisagem acumulativa.	53
Tabela 25 - Metais na água (mg L^{-1}) da paisagem acumulativa.	53
Tabela 26 - Metais nas cinzas das plantas (mg kg^{-1}) da paisagem acumulativa.	54
Tabela 27 - Concentrações médias dos elementos nos solos (mg kg^{-1}) das paisagens autônoma e acumulativa superaquática e coeficientes de migração local.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETEC – Centro Tecnológico de Minas Gerais

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DAER - Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem do Rio Grande do Sul

DAP – Diâmetro à altura do peito

dt – decitoneladas

EBR – Estaleiro Brasil Ltda.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GCI – Gerenciamento costeiro integrado

ICP-MS – Ionização por plasma de Argônio com espectrometria de massas
(*Inductively coupled plasma mass spectrometry*)

KD – Clarc de dispersão

KK – Clarc de acumulação

LP – Lagoa dos Patos

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MO – Matéria orgânica

ONU – Organização das Nações Unidas

PROMINP – Programa de Mobilização da Indústria Nacional do Petróleo de Gás Natural

PVC – Policloreto de vinila

RBMA – Reversa da Biosfera Mata Atlântica

RGM – Rio Grande Mineradora S. A.

RLP – Restinga da Lagoa dos Patos

RS – Rio Grande do Sul

SEMA-RS – Secretaria de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul

SMA-SP – Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo

SUMÁRIO

RESUMO	2
ABSTRACT	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS	5
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	6
1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo geral	17
2.2 Objetivos específicos	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 Descrição dos pontos de amostragem	18
3.2 Amostragem e tratamento das amostras	20
3.2.1 Águas	20
3.2.2 Solos e sedimentos	21
3.2.2.1 Tratamento químico das amostras de solos e sedimentos	22
3.2.2.2 Determinação da matéria orgânica nas amostras de solos e sedimentos	23
3.2.3 Plantas	24
3.2.3.1 Determinação do teor de cinzas das amostras de plantas	25
3.2.3.2 Determinação da composição química das cinzas	26
3.3 Biomassa da paisagem autônoma	27
3.4 Produtividade da paisagem autônoma	30
3.5 Determinação dos parâmetros geoquímicos.	32
4. RESULTADOS	33
4.1 Características geoquímicas da paisagem autônoma	33
4.1.1 Posição na classificação de paisagem geoquímica por parâmetros de biomassa e produtividade anual	34
4.1.2 Características geoquímicas de solo da paisagem autônoma	36
4.1.3 Parâmetros geoquímicos da água subterrânea da paisagem autônoma	41
4.1.4 Parâmetros geoquímicos das plantas da paisagem autônoma	42
4.2 Paisagem acumulativa superaquática	43

4.2.1 Características geoquímicas de solo da paisagem acumulativa superaquática	44
4.2.2 Parâmetros geoquímicos da água subterrânea da paisagem acumulativa superaquática.	47
4.2.3 Parâmetros geoquímicos das plantas da paisagem acumulativa superaquática.	48
4.3 Paisagem acumulativa subaquática	50
4.3.1 Características geoquímicas dos sedimentos da paisagem acumulativa subaquática	50
4.3.2 Parâmetros geoquímicos da água da paisagem acumulativa subaquática	52
4.3.3 Parâmetros geoquímicos das plantas da paisagem acumulativa subaquática	53
5. DISCUSSÃO	55
6. CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXO A – Concentrações dos elementos químicos nos solos e sedimentos	68
ANEXO B – Valores de clarc de concentração e clarc de dispersão	74

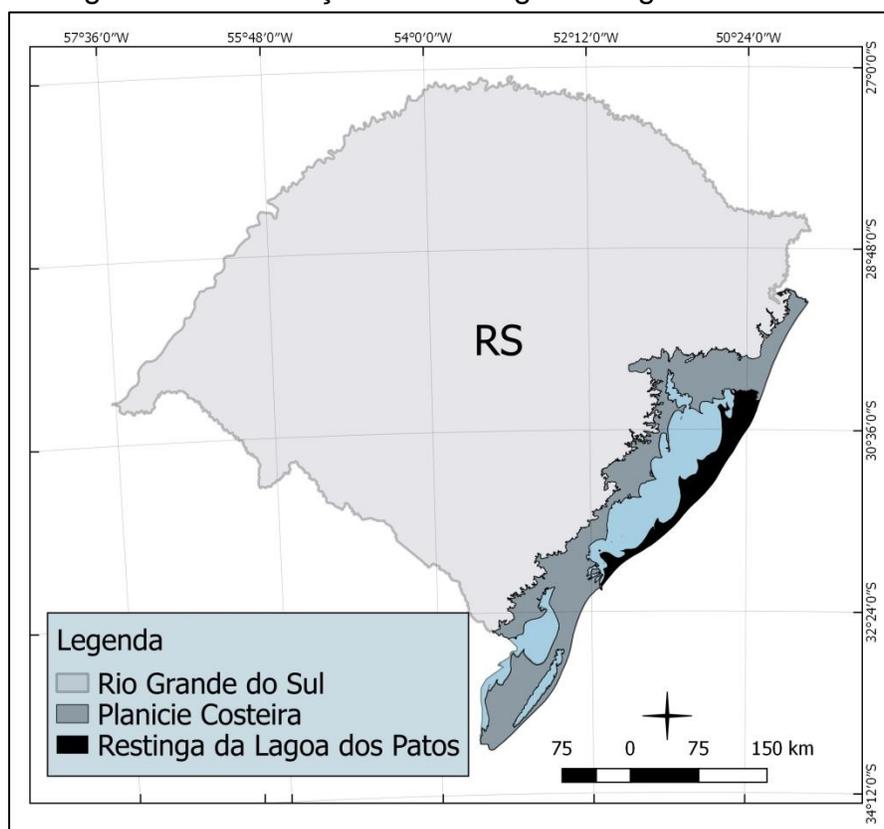
1. INTRODUÇÃO

Formadas no período Quaternário as restingas litorâneas são superfícies deposicionais alongadas, baixas e planas, apresentando um suave declínio em direção ao mar (SUGUIO, 1973). São modeladas por feições associadas a processos oceânicos costeiros, como cordões litorâneos ou lagunares, terraços lagunares, escarpas arenosas, dunas e mantos de aspensão eólica. As restingas ocorrem em toda a costa brasileira, entretanto são maiores e mais frequentes no litoral sul e sudeste do país. Como exemplos podem ser citadas as restingas de Laguna, em Santa Catarina; a de Paranaguá, no Paraná e as da Marambaia e Massambaba, no Rio de Janeiro (SILVA, 1999). O termo restinga pode ter diferentes significados dependendo do objetivo do estudo. Geralmente o termo é empregado para definir um padrão determinado de fisionomia vegetal, entretanto também pode designar o sistema substrato-vegetação, conotando um sentido geológico-ambiental, como adotado neste estudo. A formação das restingas está associada aos eventos de regressão e transgressão marinha que ocorreram no período do Quaternário, sendo resultado dos processos erosivos e deposicionais que acompanharam as oscilações do nível do mar.

A Restinga da Lagoa dos Patos (RLP), conforme definida por Tagliani (1995), pode ser compreendida como todo o ecossistema delimitado pelo arcabouço físico constituído pela península que isola a Lagoa dos Patos do Oceano Atlântico, entre as coordenadas 30° 20' e 32° 10', de latitude Sul, e 53° 53' e 53° 05' de longitude Oeste (Fig. 1). Com aproximadamente 3700 km² de área, sendo uma das maiores restingas brasileiras, compreende o segmento médio da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, abrangendo os municípios de São José do Norte, Tavares e Mostardas. Os municípios em questão são interligados pela BR 101 cuja pavimentação se iniciou na década de 90. A estrada escoou a produção regional até a capital do estado, Porto Alegre. A tardia pavimentação da rota, no passado chamada de “Estrada do Inferno”, pode ser considerada a principal causa da estagnação econômica e cultural da região. Entretanto, esse “isolamento” também pode ser visto como o fator responsável pela conservação dos ambientes e recursos naturais. Desde o asfaltamento da estrada, iniciada em 1993, entre os

municípios de Capivari do Sul, Palmares do Sul e Mostardas, e em 2001 até Tavares, sendo finalizada apenas em 2009 quando chegou a São José do Norte (DAER, 2016), ocorreram algumas alterações na paisagem, economia e cultura regional. Localizado na margem ocidental do estuário da Lagoa dos Patos, o município de Rio Grande, concentra atividades portuárias, industriais, pesqueiras e turísticas que exercem impactos crescentes sobre essa região em questão, também denominada como litoral médio do estado (TAGLIANI, 2011).

Figura 1 - Localização da Restinga da Lagoa dos Patos.



Fonte: PINHEIRO, 2016.

Resultantes do PROMINP (Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás Natural instituído pelo governo federal em 2003), o Polo Naval de Rio Grande (inaugurado em 2006) e o estaleiro do Grupo Estaleiros do Brasil Ltda. Instalado no município de São José do Norte (em operação desde 2014) vieram suprir uma demanda nacional dos setores ligados ao petróleo e gás por infraestrutura industrial (PROMINP, 2016; EBR, 2016). Esses empreendimentos

atraíram para a região uma quantidade expressiva de migrantes, aumentando a necessidade de novos assentamentos urbanos e a demanda por recursos. Além das atividades relacionadas ao setor do petróleo e gás natural, a região é foco de um projeto de mineração dos minérios Zirconita, Rutilo e Ilmenita, o Projeto Retiro. O empreendimento, que pertence à empresa Rio Grande Mineração S.A. (RGM), encontra-se em processo de licenciamento ambiental, e visa à exploração de depósitos minerais associados ao cordão de dunas litorâneas de São José do Norte (RGM, 2014).

Os diferentes tipos de vegetação ocorrentes nas restingas brasileiras variam desde formações herbáceas, passando por formações arbustivas, abertas ou fechadas, chegando a florestas cujo dossel varia em altura, geralmente não ultrapassando os 20 m (TAGLIANI, 2011). Em muitas áreas de restinga no Brasil, especialmente no sul e sudeste, ocorrem períodos mais ou menos prolongados de inundação do solo, fator que tem grande influência na distribuição de algumas formações vegetais. A periodicidade com que ocorre o encharcamento e a sua respectiva duração são decorrentes principalmente da topografia do terreno, da profundidade do lençol freático e da proximidade de corpos d'água (rios ou lagoas), produzindo em muitos casos um mosaico de formações inundáveis e não inundáveis, com fisionomias variadas, o que até certo ponto justifica o nome de “complexo” que é empregado para designar as restingas. Por serem ecossistemas jovens e semi-confinados, com baixa produtividade e alta fragilidade estrutural, as áreas de restinga apresentam limitações ao desenvolvimento de um sistema socioeconômico baseado na exploração dos recursos naturais (TAGLIANI, 2011).

De acordo com a Organização das Nações Unidas - ONU (2016), estima-se que, no ano 2100, a população mundial alcance aproximadamente 11 bilhões de pessoas, e provavelmente mais da metade destas estarão vivendo nas zonas costeiras. Portanto, torna-se evidente a necessidade do Gerenciamento Costeiro Integrado (GCI), pois estas zonas são exclusivas e de extrema valia devido aos seus diversos serviços ambientais oferecidos, além de servir de suporte à economia nacional dos seus países. Segundo Polette & Vieira (2005), o GCI é um conjunto de ações e processos que permite a gestão integrada e participativa dos

bens comuns da zona costeira. Esta gestão tem o objetivo de adequar as atividades humanas à capacidade suporte dos ecossistemas, contribuindo com a conservação do ambiente e com a melhoria da qualidade de vida das pessoas. Devido as suas características naturais, as regiões costeiras atraem diversos empreendimentos, entre eles comerciais, industriais e turísticos. O GCI contempla a necessidade de gestão do espaço na busca do desenvolvimento sustentável das atividades que compartilham de recursos e espaço, resolvendo conflitos e mitigando os danos causados ao ambiente que podem ser evidenciados por atividades como pesca predatória, desordenamento da área urbana, exploração irregular e irresponsável de recursos minerais, entre outros problemas.

No Brasil, o GCI tem suas ações efetivadas pelo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), fazendo parte da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), atuando por meio de instrumentos de gestão, como por exemplo, o Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro (ZEEC). O ZEEC é o instrumento do PNGC fundamental ao processo de ordenamento territorial que busca uma ocupação sustentável de uma região costeira e melhorias na qualidade de vida das populações locais. Sua elaboração consiste no detalhamento das especificidades econômicas, sociais, ambientais e culturais existentes, subsidiando um diagnóstico dos meios físico, socioeconômico e jurídico-institucional (MMA, 2016).

A percepção da paisagem como a unidade estrutural dos sistemas ecológicos se ocorreu ainda no século XIX. A partir do desenvolvimento do pensamento geográfico o conceito de paisagem como “um setor determinado da superfície terrestre” foi sendo aprofundado, adquirindo complexidade. Tais estudos culminaram no desenvolvimento da Ciência da Paisagem e no estabelecimento da chamada “escola alemã”. A escola alemã, desenvolvida, sobretudo por Carl Troll, enfatizava os aspectos morfológicos da paisagem, sua descrição e classificação (PEREIRA, 2012). Em Troll (1971), o autor discute a transformação das terminologias no decorrer do desenvolvimento da ciência da paisagem. Já nas primeiras décadas do século XX, se conceitua a paisagem como uma “comunidade de comunidades”, em uma ordem superior de organização, sendo o

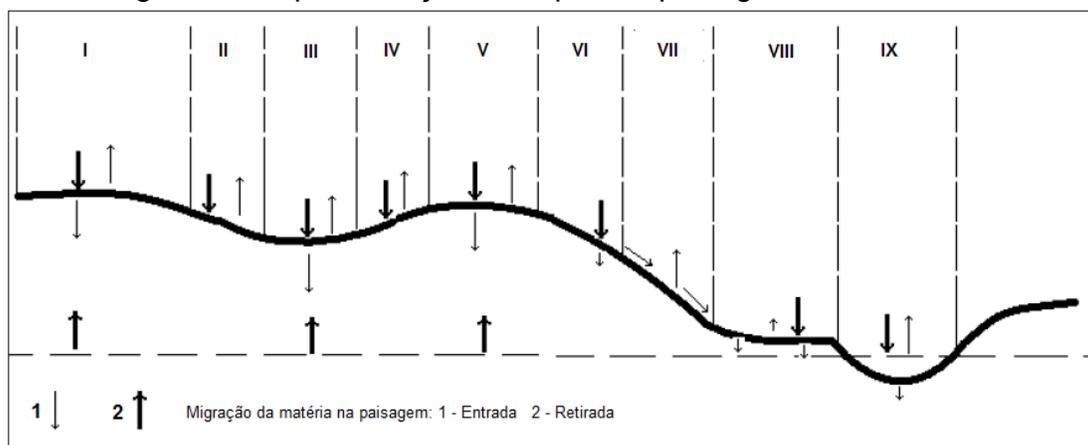
conjunto das comunidades bióticas (eventualmente humanos) e dos fatores abióticos (como relevo e corpos d'água). Foi neste contexto que se desenvolveu a geografia soviética e, derivado dessa concepção da paisagem o conceito de *geossistema* (onde ocorre a troca contínua de matéria e energia entre o solo, o ar e a biota); contrastando a diferenciação regional clássica (abordagem geográfica) com a abordagem ecológica funcional (vertical) (TROLL, 1971). Foi nesse sentido que em 1915, o geoquímico soviético, B. B. Polynov formulou o conceito de paisagem elementar; área da superfície terrestre, representada por um determinado tipo de relevo, que é composta por um tipo rocha, sedimento ou solo, e coberta em cada momento de sua existência por uma comunidade vegetal. A paisagem elementar representa a unidade fundamental da paisagem. Como característica a paisagem elementar não apresenta fatores internos que possam limitar seu tamanho, sendo assim, sua extensão pode variar entre algumas centenas de m² a centenas de km² (MIRLEAN et al, 2006).

A paisagem elementar é dividida em níveis, representados por corpos naturais: atmosfera, organismos vivos, solos, crosta de intemperismo e o lençol freático. Sendo seu limite superior a troposfera e seu limite inferior a superfície do lençol freático. É neste perfil vertical que ocorre a migração dos elementos químicos, o resultado dos processos biogênicos e abiogênicos determina a composição química do horizonte húmico. Este é o centro da paisagem elementar, pois é onde ocorrem as trocas entre os diferentes níveis da paisagem. As paisagens elementares podem ser divididas em dois grupos, de acordo com o papel que desempenham na redistribuição da matéria, sendo autônomas ou subordinadas, ou respectivamente, eluviais e acumulativas.

A paisagem autônoma recebe matéria principalmente por precipitações atmosféricas, e em geral são associadas às áreas altas do relevo. As paisagens eluviais (autônomas) podem ser divididas em transeluviais, quando localizadas nas partes mais altas do relevo; e transeluviais-acumulativas, associadas às partes mais baixas. As paisagens acumulativas ficam nas partes baixas do relevo e recebem matéria oriunda da paisagem autônoma. Podem ser divididas em paisagens sobre-aquáticas, que ocorrem quando o limite superior do lençol

freático atinge o horizonte húmico do solo; e paisagens subaquáticas, que são os corpos d'água permanentes (rios, banhados, lagos, etc.). As diferentes paisagens elementares, autônomas e acumulativas (Fig. 2), são interligadas pela migração dos elementos químicos, sendo indissociáveis. Entretanto é a paisagem autônoma que determina as características geoquímicas de todas as demais paisagens associadas. A associação das paisagens elementares interligadas pela migração dos elementos químicos é denominada paisagem geoquímica (MIRLEAN et al. 2006).

Figura 2 - Representação dos tipos de paisagens elementares.



I e V – paisagens eluviais (autônomas); II, IV e VI – paisagens eluviais acumulativas; III – paisagem acumulativa-eluvial; VII – paisagem trans-eluvial; VIII – paisagem supraaquática (acumulativa); IX – paisagem subaquática (acumulativa). Fonte: MIRLEAN et al., 2006.

Foi a partir das pesquisas desenvolvidas por Polynov que o geoquímico russo A. Perel'man, em meados do século XX, desenvolveu uma ciência do ramo que ele chamou de Geoquímica da Paisagem, atribuindo o termo ao estudo dos movimentos de matéria entre a litosfera, a hidrosfera, a atmosfera e a biosfera, o qual a força motriz é a energia solar. A Geoquímica da Paisagem visa compreendê-la no nível dos elementos químicos e de seus movimentos de migração (NAZAROV, 1965).

As paisagens geoquímicas podem ser categorizadas através de uma metodologia hierárquica de classificação, de acordo com as características geoquímicas de suas paisagens elementares. As características de migração

servem de base para a classificação das paisagens. A classificação desenvolvida por geoquímico russo Alexandr Perel'man, entre as décadas de 50 e 60, é baseada nos processos de migração da matéria e no papel que a biomassa desempenha na transformação da superfície da Terra. Sendo assim, os processos de produção e consumo da matéria orgânica são o princípio da classificação (MIRLEAN et al, 2006). A hierarquia do sistema de classificação (Tab. 1) tem como ponto de partida a determinação dos parâmetros biomassa e produção biológica anual, ou produtividade, sendo determinada pela diferença entre o valor máximo e o valor mínimo de biomassa de um ano.

Tabela 1 - Os táxons da classificação geoquímica das paisagens.

Nível taxonômico	Táxon	Parâmetros determinantes	Nº de divisões
Superior	Grupo	Tipo de vegetação, biomassa e produtividade	5
	Tipo	$J = \log P / \log B$	62
	Família	Variação de P e B (J - constante)	3
Médio	Classe	Conjunto de elementos químicos líderes e nutrientes	21
Inferior	Gênero	Gradiente de diferenciação do relevo	3
	Espécie	Litologia	n.l.

B: biomassa ($dt\ ha^{-1}$); P: produtividade ($dt\ ha^{-1}\ ano^{-1}$); n.l.: número não limitado.

Fonte: MIRLEAN et al. 2006

No sistema de classificação os táxons superiores (grupo, tipo e família) são baseados nas características biogênicas das paisagens, na determinação dos parâmetros e da relação entre eles (biomassa e produtividade). De acordo com Rodim & Basilevich (1965 apud MIRLEAN et al. 2006) as paisagens podem ser categorizadas em cinco grupos (Tab. 2). Os tipos (segundo táxon da classificação) são determinados pelo coeficiente de proporcionalidade J (equação 1). O coeficiente J também determina o nível de homogeneidade da paisagem.

$$(1) J = \log P / \log B$$

B: biomassa (dt.ha^{-1});
 P: produtividade ($\text{dt.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$);

Tabela 2 - Níveis superiores de classificação geoquímica.

Grupo	Paisagem	Nº de tipos
I	Florestais	25
II	Savanas, estepes e pradarias	19
III	Desertos	14
IV	Tundras	2
V	Desertos primitivos	2

Fonte: MIRLEAN *et al.* 2006

Dentre os focos de estudo da geoquímica da paisagem, além da classificação, está a determinação das barreiras geoquímicas. Segundo Perel'man (1961 apud MIRLEAN *et al.* 2006) as barreiras geoquímicas são locais onde ocorre a interrupção da migração dos elementos químicos. Formam-se anomalias de elementos químicos nos solos, nos sedimentos ou nos organismos vivos (principalmente na vegetação), podendo ser de origem natural ou antropogênica. Cada paisagem geoquímica apresenta um conjunto de barreiras, sendo uma característica tão importante para a paisagem como a cobertura vegetal ou tipo de solo.

O crescente interesse sobre danos ao meio ambiente tem levado à aplicação da geoquímica da paisagem como base para a caracterização da distribuição espacial da poluição e da avaliação de riscos socioambientais, classificando o território de acordo com as características de migração e fragilidades aos poluentes. Os estudos mais aprofundados sobre a aplicação da classificação da paisagem ainda são restritos aos países desenvolvidos, principalmente da Europa e Ásia (NECHAYEVA, 2010; YU, 2015). Apesar da geoquímica da paisagem ter sido amplamente desenvolvida a metodologia de classificação hierárquica das paisagens geoquímicas nunca foi aplicada em um estudo desenvolvido no Brasil.

A classificação geoquímica no estudo da paisagem pode ser uma ferramenta útil nos mecanismos de regulação racional do uso de territórios (ocupação do espaço e uso dos recursos). A aplicação da geoquímica de paisagem em estudos

ambientais pode contribuir com a avaliação de riscos através da caracterização da distribuição de poluentes. A caracterização geoquímica prognóstica de uma região incrementa o arcabouço teórico para a elaboração de planos de gestão, zoneamentos econômicos ecológicos e ordenamento territorial.

A realização de um estudo tipológico de geoquímica de paisagem em regiões subtropicais pode contribuir com a base teórica do tema. Contudo, do ponto de vista da gestão ambiental, a caracterização geoquímica é uma ferramenta aplicável aos estudos de avaliação de riscos ambientais assim como para o planejamento territorial. Adicionalmente, ecossistemas confinados, como as restingas litorâneas, apresentam alta fragilidade ambiental. Por isso, estudos cujos objetivos sejam ampliar o conhecimento sobre a organização estrutural e funcional desses ecossistemas são importantes e devem ser incentivados para o subsídio de futuros planos e ações.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Determinar as características geoquímicas e classificar a restinga da Lagoa dos Patos de acordo com a classificação atual das paisagens geoquímicas.

2.2 Objetivos específicos

Determinar os parâmetros de biomassa e produtividade vegetal.

Determinar a distribuição dos parâmetros geoquímicos ao longo do perfil dos solos e ao longo do conjunto das paisagens elementares.

Avaliar a paisagem geoquímica quanto à sua vulnerabilidade a impactos ambientais.

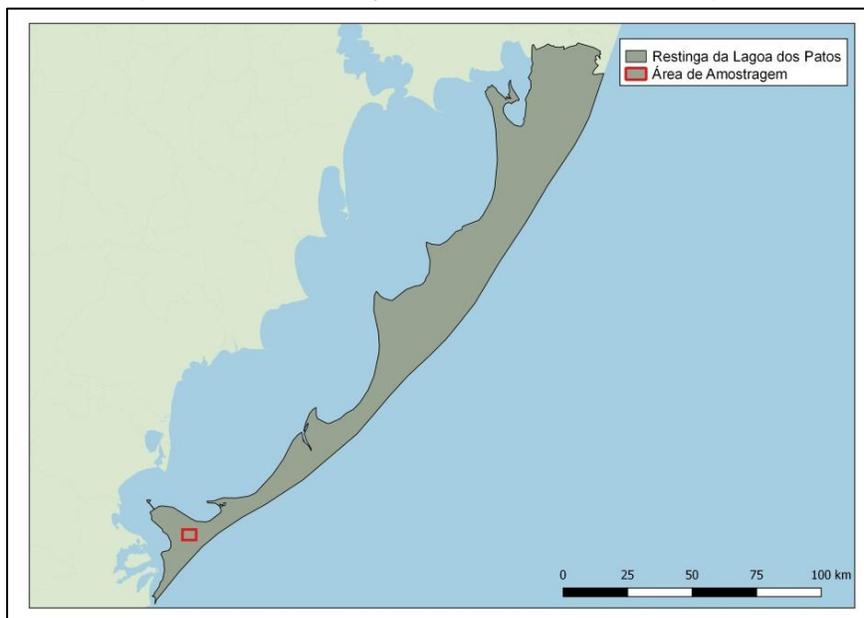
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição dos pontos de amostragem

Os locais de amostragem foram determinados visando à representação de um perfil da paisagem geoquímica, contemplando ambientes que representem as paisagens autônoma, de transição (acumulativa superaquática) e acumulativa (subaquática); respectivamente representadas na restinga pelos ambientes de campos e matas, áreas periodicamente alagadas (banhados) e um pequeno lago (Fig. 3). As campanhas de amostragem foram realizadas durante o inverno (agosto de 2015) e durante o verão (fevereiro de 2016), correspondendo aos períodos de menor e maior produtividade primária, respectivamente.

As amostras foram obtidas em saídas de campo, destinadas ao município de São José do Norte, próximo à localidade de Capivaras (Fig. 4 e 5; Tab. 3). Durante as saídas foram coletadas amostras de vegetação, de água subterrânea e superficial e perfis de solos/sedimentos.

Figura 3 - Localização da área de amostragem.



Fonte: produzido pela autora.

Figura 4 - Pontos amostrais.



Fonte: produzida pela autora.

Tabela 3 - Pontos de amostragem.

Ponto	Paisagem	Ambiente	Latitude	Longitude
1	Autônoma	Campos e matas	31° 54' 58.4" S	51° 57' 16.2" O
2	Acumulativa super aq.	Banhado	31° 55' 16.1" S	51° 55' 42.6" O
3	Acumulativa aq.	Lago	31° 55' 22.7" S	51° 55' 37.5" O

aq: aquática; S: Sul; O: Oeste.

Figura 5 - Distribuição dos pontos de amostragem em relação à BR-101.



Fonte: produzida pela autora.

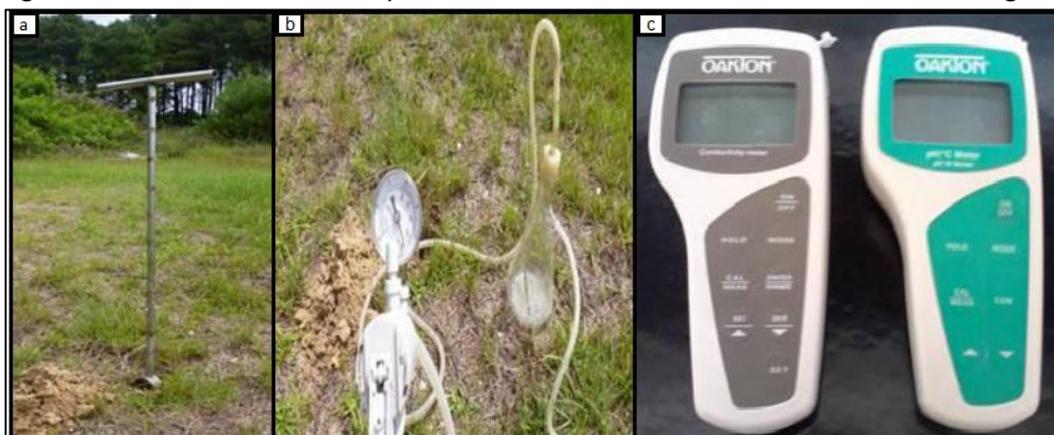
3.2 Amostragem e tratamento das amostras

3.2.1 Águas

Nos pontos 1 e 2 foram coletadas amostras de água subterrânea a partir de perfurações abertas no solo com o emprego de um trado manual de aço inox (Fig. 6a). Em ambos os pontos a água subterrânea foi encontrada a uma profundidade de 35 cm e coletada com o uso de uma bomba manual (Fig. 6b). No ponto 3 a amostra de água superficial foi coletada manualmente. Todas as amostras foram armazenadas em recipientes de polietileno, previamente lavados com ácido nítrico 1 %, enxaguados com água destilada e secos à temperatura ambiente. No laboratório, as amostras de água foram filtradas através de membrana de 0.45 μm Milipore®. Após o processo de filtração, os parâmetros pH e condutividade das amostras foram determinados com aparelhos da marca Oakton® previamente testados e calibrados antes das análises (Fig. 6c). Após a determinação desses

parâmetros as amostras foram subdivididas em alíquotas para as análises de cátions e de ânions por cromatografia iônica e composição química determinada pelo método de espectrometria de massas com ionização por plasma de argônio, ICP-MS (*Inductively coupled plasma mass spectrometry*) conforme descrito em US-EPA (2007). As alíquotas destinadas às análises de cátions e em ICP-MS foram acidificadas com 50 µl de ácido nítrico supra puro.

Figura 6 - Materiais usados para coleta e tratamento das amostras de águas.



a) Trado manual; b) Bomba à vácuo (manual) para água; c) pHmetro e condutivímetro Oakton®. Fonte: QUINTANA, 2015.

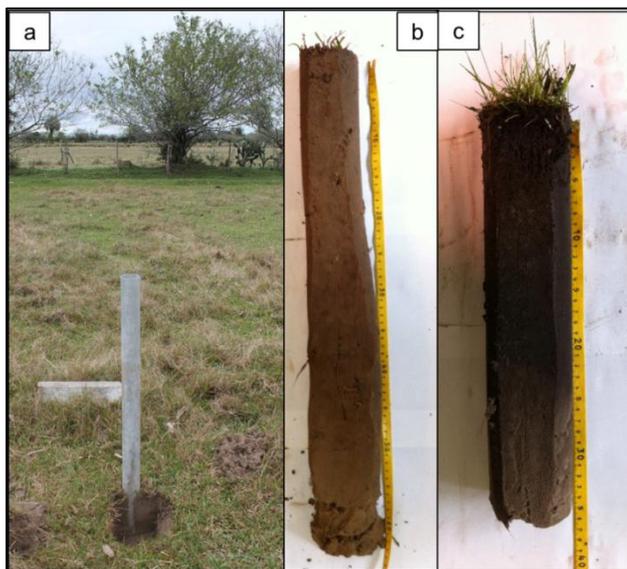
3.2.2 Solos e sedimentos

A metodologia utilizada para a coleta de solos e sedimentos neste estudo foi adaptada a partir do método descrito em Perônico & Castro (2010). Foram coletados, nos pontos 1 e 2, perfis de solo e no ponto 3 um perfil de sedimentos. Para a coleta dos perfis foi utilizado o método de percussão manual, usando como testemunhadores tubos de alumínio (para os perfis de solo) e de acrílico (para o perfil de sedimentos). Todos os testemunhadores mediam 100 mm de diâmetro e 1.5 m de comprimento. Utilizando-se uma marreta os testemunhadores foram introduzidos nos substratos por percussão manual (Fig. 7a). Com a finalidade de minimizar a força provocada pelos golpes de percussão utilizou-se um cubo de madeira que absorvia o impacto sem danificar os testemunhadores. Para a retirada dos testemunhadores introduzidos utilizou-se tampões de policloreto de vinila (PVC) nas extremidades de topo, criando um ambiente de vácuo, o que

permitiu a retirada dos testemunhadores sem afetar a integridade dos perfis coletados.

Após a coleta os testemunhadores foram levados ao laboratório, onde os perfis foram recuperados, medidos, descritos e subdivididos em amostras (Fig. 7b; Fig. 7c). Os perfis de solo foram subdivididos a cada três cm, e o perfil de sedimentos a cada um cm. As amostras foram secas à temperatura de 50° C, por cerca de 48 h, até que estivessem completamente secas para serem então desgrumadas com o auxílio de um graal e pistilo de porcelana. As amostras foram armazenadas em recipientes de polietileno previamente limpos em solução de ácido nítrico a 1 %, enxaguados com água destilada, e secos em temperatura ambiente.

Figura 7 - Perfis de solo.



a) Coleta de um perfil de solo; b) perfil obtido para o ponto 1; c) perfil obtido para o ponto 2. Fonte: produzido pela autora.

3.2.2.1 Tratamento químico das amostras de solos e sedimentos

Para a determinação da composição química dos solos e sedimentos em ICP-MS as amostras foram submetidas ao método de digestão ácida com água régia (US-EPA 1996a). Um grama da amostra seca foi pesado em tubo Teflon próprio para ser utilizado em micro-ondas. Após a pesagem foram adicionados 5

ml de água régia previamente preparada (HCl e HNO₃ na proporção de 3:1). As amostras foram submetidas à ação do micro-ondas durante 30 minutos, após o resfriamento os extratos foram filtrados através de membrana de 0,45 µm, Milipore® e diluídos até o volume de 50 ml.

3.2.2.2 Determinação da matéria orgânica nas amostras de solos e sedimentos

Foi feita a determinação do teor de material orgânico (MO) das amostras de solo, dos pontos 1 e 2, e dos sedimentos do ponto 3. A metodologia utilizada está descrita em EMBRAPA (2013). Inicialmente foram preparadas as cápsulas (cadinhos) de porcelana. Os cadinhos foram previamente limpos, secos em estufa a 105° C por 24 h, pesados e seu peso vazio foi registrado (P_C). Foram pesadas 2g de cada amostra, após a pesagem os cadinhos com as amostras foram transferidos para a estufa por 105° C por 24 h, para a que fosse eliminada toda a umidade das amostras. Após a secagem os cadinhos com as amostras foram pesados novamente. A diferença entre o peso obtido e o P_C é o peso da amostra seca (P_A). Os cadinhos foram então transferidos para o forno de mufla e submetidos à temperatura de 600° C durante 6 h. Após a incineração os cadinhos com as amostras foram transferidos para um dessecador até atingirem a temperatura ambiente e serem novamente pesados (P_F). O teor de matéria orgânica é determinado pela diferença das massas das amostras antes e após a incineração. Conforme as equações 2 e 3.

$$(2) P_{MO} = P_A - (P_F - P_C)$$

P_{MO} = Peso da matéria orgânica (g);

P_A = Peso da amostra seca (g);

P_F = Peso do cadinho e da amostra após a combustão (g);

P_C = Peso do cadinho (g).

$$(3) MO = P_{MO}/P_A \times 100$$

MO = Teor de matéria orgânica (%).

3.2.3 Plantas

Nos pontos 1 e 2 foram coletadas amostras de plantas, nas quais predominavam espécies herbáceas e gramíneas (nativas). As plantas foram coletadas a partir de amostras de solo de 10 cm x 10 cm, até a profundidade das raízes (em média 30 cm). As amostras foram escavadas do solo com o auxílio de uma pá de corte e um facão (Fig. 8a). No ponto 3 foram coletados manualmente exemplares das espécies de plantas aquáticas mais abundantes. Foi coletado cinco amostras em cada ponto, sendo que no ponto 1 as coletas foram realizadas no inverno (agosto de 2015) e no verão (março de 2016), no ponto 2 a coleta foi realizada apenas no inverno.

No laboratório as amostras foram desagregadas, separando-se o substrato (solo e detritos vegetais) das plantas vivas (Fig 8b). Foi feita a identificação dos exemplares coletados até o nível de espécie, quando possível. A identificação foi feita com base na comparação de imagens obtidas em bibliografia específica consultada (BOLDRINI, 2010; CORDAZZO & SEELIGER, 1988) e na base de dados Flora Digital da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2015). As plantas foram lavadas e o excesso de umidade foi absorvido com papel toalha (Fig. 9a). As amostras foram separadas em partes subterrâneas e partes aéreas (Fig. 9b; Fig. 9c), e pesadas obtendo-se o peso úmido. Para cada ponto foi calculada a média aritmética dos pesos das amostras. Os valores médios obtidos foram extrapolados para centenas de quilogramas por hectare (ha), e correspondem à biomassa de cada ponto. Após a pesagem as amostras foram acondicionadas em placas de petri (previamente limpas) e secas em estufa à temperatura de 60° C até atingirem o peso constante (peso seco). Após a secagem as amostras foram despedaçadas com o auxílio de uma tesoura de aço inoxidável e armazenadas em recipientes de polietileno previamente limpos.

Figura 8 - Amostra de planta.



a) Parcela de solo com a vegetação; b) Plantas retiradas da parcela de solo e lavadas.
Fonte: produzido pela autora.

Figura 9 - Amostras de plantas.



Partes de uma amostra; a) plantas vivas lavadas, após a retirada do excesso de umidade; b) partes subterrâneas; c) partes aéreas. Fonte: produzido pela autora.

3.2.3.1 Determinação do teor de cinzas das amostras de plantas

O teor de cinzas das plantas foi determinado pela ignição das amostras, conforme o método descrito em Zenebom *et al.* (2008). Para a obtenção das cinzas as amostras de plantas foram secas em estufa à temperatura de 50° C por

cerca de 48 h. Após a secagem as amostras foram cortadas em pedaços pequenos com o auxílio de uma tesoura de aço inoxidável.

Os cadinhos de porcelana foram previamente limpos e secos em estufa a 105° C por 24 h, pesados e seu peso vazio foi registrado (P_C). Foram pesados aproximadamente 3 g de cada amostra (P_A). Após a pesagem os cadinhos com as amostras foram transferidos para um forno de mufla que foi aquecido à temperatura de 350° C. Ao atingir tal temperatura a porta do forno foi aberta para permitir a entrada de ar (necessário para que a combustão das amostras seja completa). O forno foi novamente fechado, a temperatura foi elevada aos 600° C e os cadinhos permaneceram em seu interior durante uma hora. Após a completa transformação das amostras em cinzas, os cadinhos foram transferidos para um dessecador até atingirem a temperatura ambiente. Após arrefecerem os cadinhos com as cinzas foram pesados (P_F).

O teor de cinzas foi determinado a partir da diferença entre as massas da amostra antes e depois da incineração, aplicando-se as equações 4 e 5.

$$(4) P_{Cinzas} = P_A - (P_F - P_C)$$

P_{Cinzas} = Peso das cinzas (g);

P_A = Peso da amostra seca (g);

P_F = Peso do cadinho com as cinzas (g);

P_C = Peso do cadinho (g).

$$(5) T_{Cinzas} = P_{Cinzas}/P_A \times 100$$

T_{Cinzas} = Teor de cinzas (%).

3.2.3.2 Determinação da composição química das cinzas

A composição química das amostras de cinzas foi determinada em ICP-MS. Os extratos analisados foram obtidos a partir de digestão em ácido clorídrico a quente das amostras (US-EPA 1996b).

O peso das cinzas que a combustão de cada amostra gerou foi determinado a partir da equação 4. Devido à pouca massa, as cinzas obtidas foram utilizadas em sua totalidade. Foram adicionados aos cadinhos que continham as cinzas 3 ml

de ácido clorídrico. Os cadinhos foram aquecidos até a temperatura de 80° C durante 30 minutos. Após esse intervalo foram adicionados 5 ml de água destilada e os cadinhos permaneceram sob aquecimento por 20 minutos. Após o resfriamento os extratos obtidos foram filtrados através de membrana de 0,45 µm Milipore® e diluídos até o volume de 10 ml.

3.3 Biomassa da paisagem autônoma

Em amplo sentido, o termo 'biomassa' significa a massa (peso) de matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal. Entretanto ao termo podem ser atribuídos diferentes significados de acordo com o foco do estudo, como por exemplo, fitomassa (biomassa de origem vegetal) (SANQUETTA, 2002 apud SILVEIRA, 2008). A biomassa vegetal é uma consequência direta dos fatores bióticos e abióticos de um ecossistema (BROWN, 1997).

No presente estudo o termo biomassa faz referência à massa vegetal viva (acima e abaixo do solo) existente nas paisagens elementares da Restinga da Lagoa dos Patos. Os valores de biomassa foram estimados através de métodos diretos e indiretos, e os valores expressos em decitoneladas por hectare ($dt\ ha^{-1}$). De acordo com Salati (1994 apud SILVEIRA, 2008) no método direto, conhecido com destrutivo, a vegetação é coletada e seus componentes são separados e pesados. Os métodos indiretos envolvem estimativas de valores baseados em dados originados principalmente de inventários florestais.

Conforme descrito anteriormente, o ponto amostral 1 localizado em uma área de campo nativo, representa a paisagem autônoma. Entretanto a contribuição das formações arbóreas e arbustivas (capões) nos processos de transformação e transporte da matéria entre as paisagens da Restinga não pode ser desconsiderada. A paisagem autônoma é na realidade o conjunto dos ambientes vegetados por campos e matas. Sendo assim, a biomassa da paisagem autônoma pode ser considerada como o conjunto (soma) das biomassas dos campos e das matas. A fim de que fosse possível a quantificação dessa biomassa, com a finalidade de atingir o objetivo central do estudo (a classificação da paisagem geoquímica da RLP) adotou-se que, em média, um hectare de paisagem

autônoma (ocupado por ambas às formações vegetais) apresentaria 22 % de matas e 78 % de campo.

Para determinar tal proporção foi utilizada a área total ocupada pelos campos e a área total ocupada pelas matas em toda a Restinga da Lagoa dos Patos (Tab. 4). Admitindo-se a soma dessas áreas como a “área total ocupada por paisagem autônoma” (100 %), foram calculados os percentuais relativos a cada ambiente dentro da paisagem. Estes dados foram obtidos por meio da dissertação desenvolvida por Pinheiro (2016), “Paisagens ameaçadas da Restinga da Lagoa dos Patos” na qual o autor produziu um mapa gerado a partir de imagens de satélite com dez classes de uso e ocupação do solo, dentre elas os ambientes naturais que compõe a RLP (áreas úmidas, banhados, campos, dunas móveis, dunas vegetadas e matas).

Tabela 4 - Área total e relativa ocupada pelos ambientes que compõe a paisagem autônoma da Restinga da Lagos dos Patos.

Matas	Campos	Paisagem autônoma	Área total da RLP
4154 ha	15285 ha	19438 ha	463028 ha
22 %	78 %	100 %	

ha: hectares. Fonte: PINHEIRO, 2016.

A biomassa referente aos campos foi determinada de forma direta, a partir da coleta de amostras *in situ* (peso úmido das plantas), conforme descrito no item 3.2.3. A biomassa arbórea (das matas) foi estimada a partir da aplicação das equações 6 e 7, obtidas em CETEC (1995).

$$(6) \text{ Biomassa} = V * d; (t)$$

V = volume do fruste (tronco da árvore) (m³);

d = densidade da madeira (g cm⁻³)

$$(7) V = 0,000032224 * \text{DAP}^{1,805593} * H^{1,216863}$$

DAP = diâmetro da altura do peito (cm);

H = altura média da espécie (m).

Para estimar a biomassa arbórea foi utilizado o levantamento fitossociológico realizado em uma floresta arenosa na Lagoa do Peixe (Tavares) publicado por Dorneles & Waetcher (2004). Um estudo fitossociológico aborda além da composição florística (espécies) a estrutura e a distribuição de uma formação vegetal. A Tabela 5 relaciona as espécies arbóreas e a frequência relativa em que cada uma ocorre (DORNELES & WAETCHER, 2004) e os dados dendométricos (variáveis das equações VI e VII). Os dados dendométricos diâmetros da altura do peito (DAP) – correspondente ao diâmetro da árvore a 1,3 m de altura; a altura média (H) e densidade média da madeira (d) de cada espécie foram obtidos em literatura especializada (LORENZI, 2002; 2008; 2009; REITZ, 1983).

A partir dos dados da Tabela 5 e das equações 6 e 7 foi estimada a biomassa de uma árvore de tamanho médio de cada espécie. Segundo Dorneles & Waetcher (2004) um hectare de mata de restinga apresenta em média 1031 árvores. Com base nesse dado, e na frequência relativa das espécies, foi calculada a quantidade média de árvores de cada espécie, que ocorrem em um hectare. Dessa forma, a partir do número médio de árvores e dos valores obtidos para a biomassa das espécies, foram calculadas as biomassas relativas a cada espécie por hectare. A soma das biomassas relativas de todas as espécies é a biomassa arbórea.

Para o cálculo da biomassa total da paisagem autônoma (representado pela equação 8) as biomassas dos ambientes de campos e matas foram relativizadas pela proporção anteriormente definida.

$$(8) B = (B_{\text{Árb.}} \times 0,22) + (B_{\text{Campo}} \times 0,78)$$

B = biomassa da paisagem autônoma (decitoneladas ha⁻¹);

B_{Árb.} = biomassa arbórea (matas) (dt ha⁻¹);

B_{Campos} = biomassa dos campos (dt ha⁻¹).

Tabela 5 - Frequência relativa e dados dendométricos das principais espécies arbóreas da Restinga da Lagoa dos Patos.

Espécies	F	DAP	H	d
<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Roem. & Schult.) T.D. Penn	13,0	45	12,5	930
<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baillon) L.B. Smith & R.J. Downs	17,0	40	8,5	630
<i>Ficus organensis</i> (Miq.) Miq.	3,3	75	17,5	470
<i>Zanthoxylum fagara</i> (L.) Sarg.	10,3	35	8,0	700
<i>Diospyros inconstans</i> Jacq.	6,0	30	7,5	830
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	7,0	25	5,0	840
<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	5,4	50	13,0	830
<i>Myrrhinium atropurpureum</i> Schott	5,4	25	8,5	1000
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg	5,4	35	17,5	760
<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk.	3,8	30	7,5	780
<i>Guettarda uruguensis</i> Cham. & Schltdl.	3,8	20	5,0	1090
<i>Allophylus edulis</i> (St.-Hil.) Radlk.	3,3	22	13,0	670
<i>Scutia buxifolia</i> Reissek	3,3	25	5,5	1110
<i>Celtis spinosa</i> Spreng.	3,3	25	5,5	830
<i>Xylosma tweediana</i> (Clos) Eichler	1,6	25	6,0	820
<i>Coussapoa microcarpa</i> (Schott) Rizzini	1,1	60	11,5	590
<i>Solanum pseudoquina</i> St.-Hil.	1,1	25	5,5	530
<i>Casearia decandra</i> Jacq.	1,1	30	7,0	700
<i>Jodina rhombifolia</i> (Hook. & Arn.) Reissek	1,1	25	5,5	950
<i>Randia armata</i> (Sw.) DC.	0,5	25	5,0	680
<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke	0,5	50	12,5	810
<i>Eugenia myrcianthes</i> Nied.	0,5	25	5,0	860
<i>Erythroxylum argentinum</i> O.E. Schulz	0,5	30	6,0	1000
<i>Myrcianthes gigantea</i> (D. Legrand) D. Legrand	0,5	30	12,0	970

F: frequência relativa (%); DAP: diâmetro da altura do peito (cm); H: altura média (m); d: densidade média da madeira (kg m⁻³). Fonte: DORNELLES & WAETCHER, 2004.

3.4 Produtividade da paisagem autônoma

O termo produção primária diz respeito à biomassa assimilada por uma comunidade vegetal, em uma determinada unidade de área e de tempo. A quantidade de biomassa produzida é variável ao longo do tempo, já que esta pode ser acumulada ou consumida/descomposta (ODUM, 2007). Dessa forma a produtividade de um ambiente pode ser descrita como o balanço entre a produção vegetal e o consumo (ou morte) dessa biomassa produzida em um intervalo

estabelecido de tempo. Sendo assim, a taxa de produção de biomassa é dado o nome de produtividade (TOWNSEND *et al.*, 2006).

Considerando o conceito de biomassa adotado no presente trabalho, podemos admitir, basicamente, que produtividade significa, no presente estudo, a diferença entre as biomassas determinadas para os períodos de maior e menor produção vegetal. Sendo assim a produtividade de uma paisagem elementar pode ser determinada através da equação 9.

$$(9) P = B_{\text{Verão}} - B_{\text{Inverno}}$$

P = produtividade (dt ha⁻¹ ano⁻¹);

B_{Verão} = biomassa do período de maior produção (dt ha⁻¹);

B_{Inverno} = biomassa do período de menor produção (dt ha⁻¹);

Considerando a composição da paisagem autônoma (campos e matas) a produtividade de cada ambiente foi estimada separadamente. A biomassa produzida em ambientes de campo foi amostrada de forma direta (conforme descrito no item 3.2.3), sendo assim a produtividade anual pode ser calculada diretamente através da equação 9, usando os valores de biomassa determinados para os períodos de verão e inverno.

Para a estimativa da produtividade do componente arbóreo da paisagem foram utilizados dados de amostragem de serapilheira retirados de um estudo realizado em um remanescente de mata de restinga arenosa, publicado por Rodrigues (2004). A serapilheira é composta pelo material precipitado na superfície do solo pela vegetação (folhas, fragmentos de casca, galhos, frutos e flores) sendo uma componente essencial na caracterização de um ecossistema florestal (DIAS & OLIVEIRA FILHO, 1997). A serapilheira é o principal indicador da capacidade produtiva de uma floresta. Segundo Tadaki (1977 apud FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2005), a determinação da biomassa representada pela serapilheira de uma comunidade é uma informação essencial à análise da capacidade de produção florestal. A partir dos dados obtidos em Rodrigues (2004) foi estimada a produção anual de serapilheira por hectare de floresta de restinga. Sendo assim a produtividade total da paisagem autônoma foi estimada a partir da equação 10.

$$(10) P_{PA} = (P_{\text{Árb.}} \times 0,22) + (P_{\text{Campo}} \times 0,78)$$

P_{PA} = produtividade da paisagem autônoma ($\text{dt ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

$P_{\text{Árb.}}$ = produtividade arbórea (serapilheira) ($\text{dt ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

P_{Campo} = produtividade dos campos ($\text{dt ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$).

3.5 Determinação dos parâmetros geoquímicos.

Para a aplicação da metodologia de classificação geoquímica das paisagens é necessário o cálculo de alguns parâmetros geoquímicos: os coeficientes de dispersão ou concentração de elementos nos solos, e o coeficiente de migração local. Esses parâmetros foram calculados a partir dos resultados obtidos através das análises químicas realizadas no presente estudo (descritas anteriormente), e (quando possível) foram determinados para cada um dos elementos analisados.

Para calcular os coeficientes de dispersão (KD) ou acumulação (KK) dos elementos químicos nos solos e sedimentos foram usados os valores de clarc (concentração média mundial do elemento químico) para ambientes arenosos disponíveis em Beus *et al* (1976). Para os elementos cuja concentração fosse maior que o valor do seu clarc foram calculados coeficientes de acumulação, de acordo com a equação 11. Para os elementos de concentração inferior ao respectivo clarc foram calculados os coeficientes de dispersão através da equação 12. Os parâmetros KD e KK foram calculados para todos os elementos analisados em cada uma das três paisagens analisadas (pontos 1, 2 e 3), e foram expressos em gráficos representando a variação de KD ou KK ao longo da profundidade do perfil amostrado.

$$(11) KK_x = [\text{Concentração}_x] / \text{clarc}_x$$

$$(12) KD_x = \text{clarc}_x / [\text{Concentração}_x]$$

Para calcular os coeficientes de migração local, primeiramente foram calculadas as médias das concentrações de cada elemento obtidas nas diferentes profundidades dos perfis. Depois foi determinada a razão entre as médias das

concentrações de um elemento na paisagem acumulativa supraaquática (ponto 2) e na paisagem autônoma (ponto 1); conforme a equação 13.

(13) $CML_x = [C. média_x \text{ na P. acumulativa sup. }]/[C. média_x \text{ na P. autônoma}]$
x = elemento químico;

4. RESULTADOS

4.1 Características geoquímicas da paisagem autônoma

Conforme descrito anteriormente a paisagem elementar autônoma é em geral associadas às áreas mais elevadas do terreno, ainda que no caso da RLP essa elevação seja muito sutil devido às características do relevo da planície costeira do Rio Grande do Sul. O aporte de matéria na paisagem autônoma ocorre principalmente por precipitação atmosférica e os processos de transformação e transporte de matéria que ocorrem nessa paisagem elementar determinam as características de todas as demais paisagens associadas. A Figura 10 apresenta o local de coleta das amostras de solo, água subterrânea e plantas escolhido para representar a paisagem autônoma.

Figura 10 - Paisagem autônoma.



Foto: autora.

4.1.1 Posição na classificação de paisagem geoquímica por parâmetros de biomassa e produtividade anual

A paisagem autônoma é representada pelos ambientes naturais de campos e matas nativas apresentando uma proporção média de 22 % de matas e 78 % de campos. A biomassa (B) representada pelos campos nativos foi determinada para os períodos de maior produção vegetal (“verão”) 31,3 dt ha⁻¹ e de menor produção (“inverno”) 19,1 dt ha⁻¹. Esses resultados foram estimados a partir do peso úmido médio das amostras coletadas no ponto 1 (Tab. 6; Tab. 7). A produtividade (P) estimada dessa vegetação é de 12,2 dt ha⁻¹ ano⁻¹.

Tabela 6 - Peso das amostras de plantas (g 10 cm²) coletadas no inverno.

	Peso úmido					Média
P. aéreas	4,9	4,7	8,3	5,1	4,2	5,4
P. subterrâneas	16,9	10,3	14,0	18,8	8,2	13,6
Total	21,8	15,0	22,3	23,8	12,4	19,1
	Peso seco					Média
P. Aéreas	1,1	1,2	2,5	2,0	0,9	1,6
P. Subterrâneas	5,1	2,9	6,7	10,1	2,2	5,4
Total	6,2	4,1	9,2	12,1	3,1	7,0

P.: partes.

Tabela 7 - Peso das amostras de plantas (g 10 cm²) coletadas no verão.

	Peso úmido					Média
P. Aéreas	2,4	10,6	3,1	16,5	24,9	11,5
P. Subterrâneas	23,6	12,7	14,2	22,8	25,7	19,8
Total	26,0	23,3	17,3	39,3	50,6	31,3
	Peso seco					Média
P. Aéreas	0,7	3,8	0,6	6,6	2,5	2,8
P. Subterrâneas	9,4	5,5	5,2	6,7	5,1	6,4
Total	10,1	9,3	5,8	13,3	7,6	9,2

P.: partes.

A Tabela 8 apresenta os resultados das análises do teor de cinzas das plantas coletadas, em porcentagem. Em média as partes aéreas das plantas apresentam um teor de cinzas maior do que as partes subterrâneas (8 e 4 %, respectivamente). Considerando todas as amostras analisadas o teor médio de cinzas foi de 6 %.

Tabela 8 - Teor de cinzas das plantas (%) da paisagem autônoma.

	Partes aéreas			Partes subterrâneas			
Peso da amostra (g)	2,87	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Peso das cinzas (g)	0,23	0,32	0,15	0,14	0,21	0,08	0,10
Teor de cinzas (%)	8,00	10,67	5,00	4,67	7,00	2,67	3,33
Teor de cinzas médio	7,9			4,4			

Para caracterizar a porção representada pelas matas nativas foi estimada a biomassa arbórea média, 3058 dt ha⁻¹. A produtividade desses ambientes, representada pela produção de serapilheira, foi estimada em 1650 dt ha⁻¹ ano⁻¹.

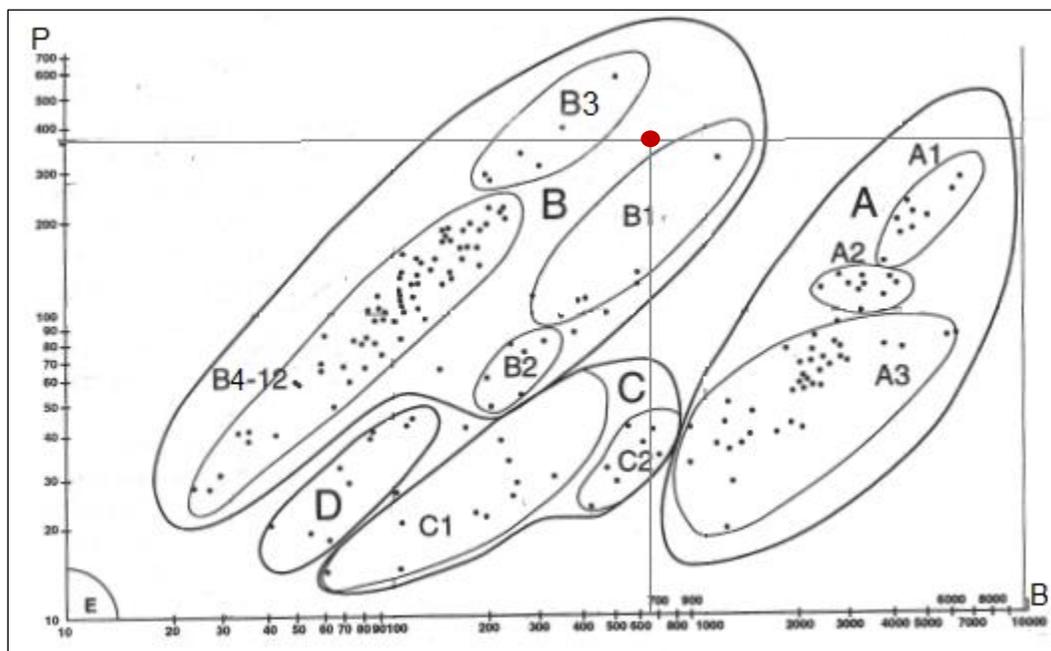
Considerando a paisagem autônoma como uma composição de matas e campos, e sua proporção estimada, um hectare da paisagem apresenta em média uma biomassa de 697,2 dt ha⁻¹ e produtividade anual de 372,5 dt ha⁻¹ ano⁻¹. Esses resultados representam a soma das biomassas e das produtividades proporcionais a cada tipo de vegetação. O parâmetro J (razão entre o logaritmo da produtividade pelo logaritmo da biomassa) resultou no valor de 0,9 (Tab. 9). De acordo com os valores de biomassa e produtividade estimados foi determinada a posição da paisagem autônoma da Restinga da Lagoa dos Patos no gráfico de classificação geoquímica das paisagens, estando a RLP entre os grupos B3 e B1, que agrupam respectivamente, “banhados de gramíneas” e savanas (Fig. 11).

Tabela 9 - Parâmetros de classificação da paisagem.

		Log
Biomassa*	697,2	2,84
Produtividade**	372,5	2,57
J=(Log P /Log B)		0,90

* dt ha⁻¹; ** dt ha⁻¹ ano⁻¹.

Figura 11 - Posição da Restinga da Lagoa dos Patos na classificação da paisagem (ponto vermelho).



Biomassa (B) (dt ha^{-1}) e Produtividade (P) ($\text{dt ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) de principais grupos de paisagens. Grupos de paisagens: A – paisagens florestais: A1 - florestas tropicais e subtropicais, A2 - florestas sub-boreais latifoliadas e mistas, A3 – florestas de coníferas e outras; B - savanas, estepes, prados e banhados de gramíneas: B1 – savanas, B2 – estepes subtropicais, B3 – banhados de gramíneas, B4 a 12 – semi desertos subtropicais, estepes boreais, prados de tundra, de taiga, de florestas latifoliadas, de estepes, de desertos; C- tundras: C1- tundra, C2 - tundra florestal; D – desertos; E – desertos primitivos. Fonte: PEREL'MAN & KASSIMOV, 1999.

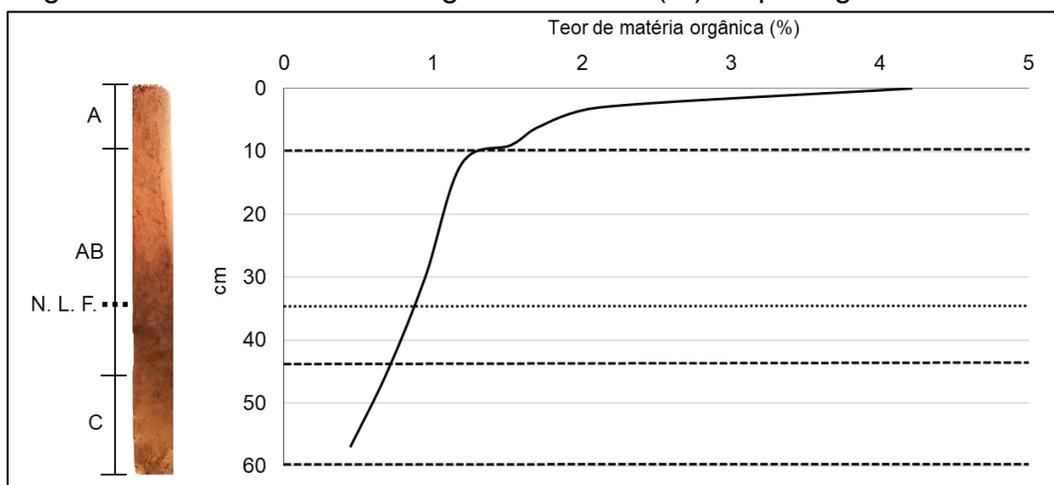
4.1.2 Características geoquímicas de solo da paisagem autônoma

Foi amostrado um perfil de solo no ambiente de campo com profundidade de 60 cm. O perfil representou um solo arenoso estruturado fracamente, com algumas manchas ocasionadas por atividades biológicas e condições hidromorfas subóxicas no final do perfil aberto. O Horizonte A do solo (0 - 10 cm) de areia fina apresentou um rizoma bastante denso nos primeiros seis centímetros. Solo com coloração pálida e com manchas de barreiras óxicas de coloração marrom ferrugem. O horizonte AB, de 10 até 44 cm, tem cor cinza pálido escuro, ainda com fragmentos de raízes. Ocorrem manchas de Fe^{+3} no final do horizonte AB,

entre 40 e 44 cm. O horizonte B (44 - 60 cm) é característico para um solo gleico de cor cinza pálido claro e com alguns poucos fragmentos de raízes.

A Figura 12 representa o teor de matéria orgânica (MO) do solo, evidenciando um solo não muito pobre no horizonte A, principalmente nos primeiros cinco cm, onde os teores de MO oscilam entre 4 e 2 %. Abaixo dessa camada as concentrações de matéria orgânica diminuem consideravelmente.

Figura 12 - Teor de matéria orgânica no solo (%) da paisagem autônoma.



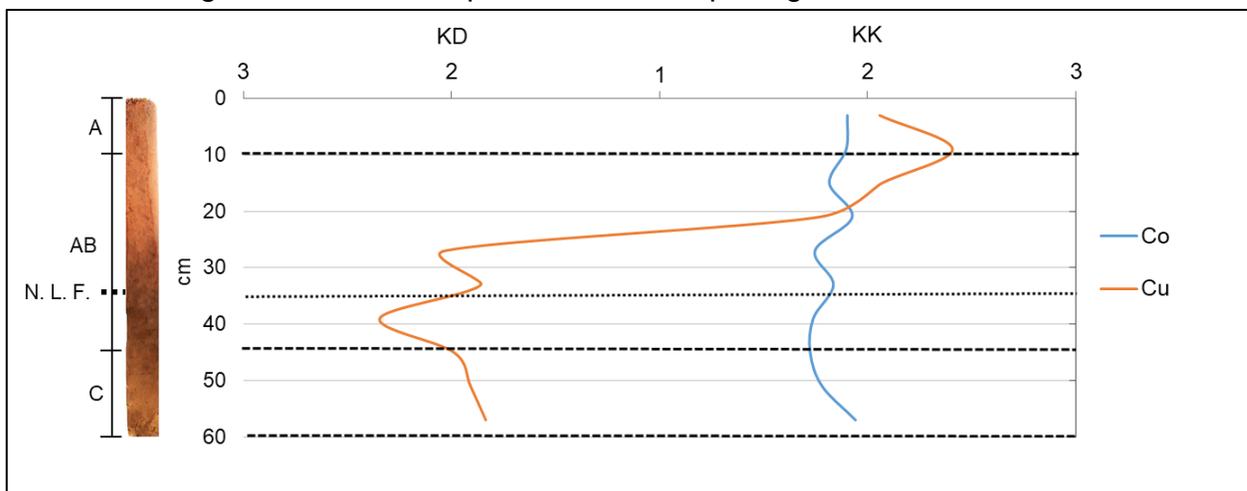
N.L.F.: nível do lençol freático.

A composição química do perfil do solo, determinada pelo método ICP-MS, foi utilizada para produzir o clarc de concentração (KK) ou clarc de dispersão (KD) dos elementos. Os gráficos apresentados representam os valores de KK e KD determinados para a profundidade do perfil amostrado (Figs. 13 - 17). O valor de KK é mais alto quanto maior for a concentração do elemento em relação ao seu clarc, contrariamente o valor de KD é maior quanto menor for a concentração do elemento em relação ao clarc dele.

O elemento Cobalto (Co) não apresentou grandes variações de valores de KK ao longo do perfil, os valores variaram entre 1,1 e 1,4 (Fig. 13). Cobre (Cu) apresentou um acúmulo significativo nos primeiros centímetros do perfil, estando o pico de sua concentração no limite inferior do horizonte A (10 cm), a partir dessa profundidade suas concentrações diminuíram até abaixo do valor do seu clarc (1 mg kg^{-1}).

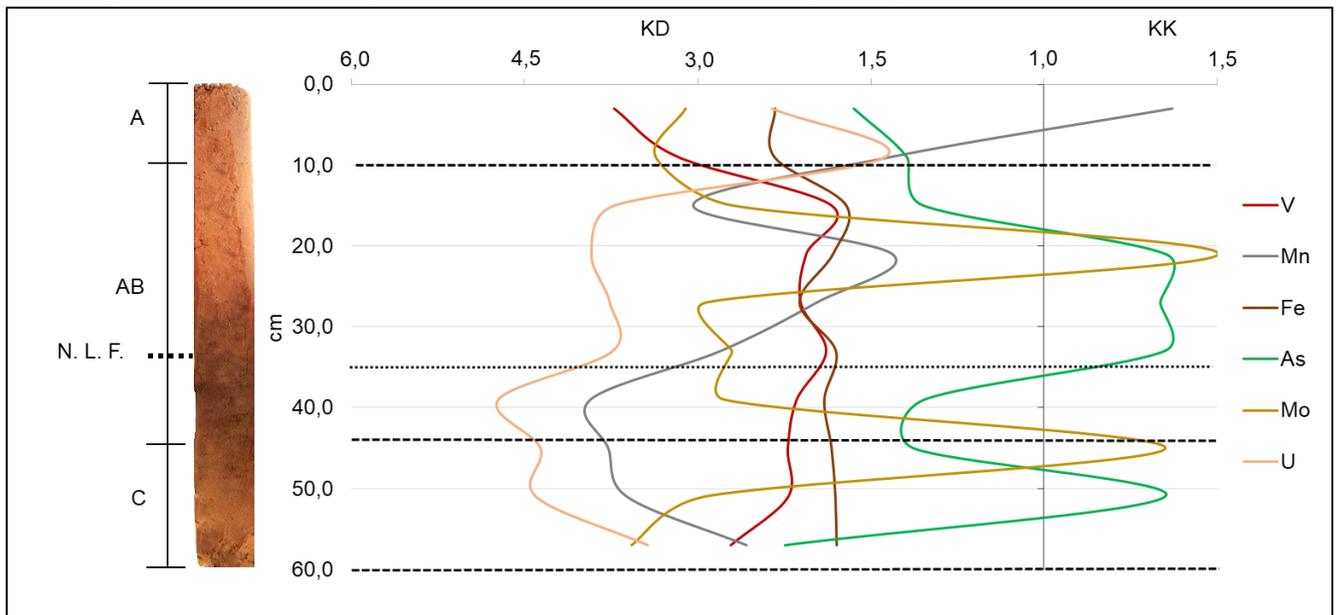
Os elementos arsênio (As) e molibdênio (Mo) oscilaram bastante em suas concentrações, resultando em variações entre situações de “acumulação” e “dispersão” em relação aos seus clarcs, indicando a presença de uma barreira geoquímica do tipo oxidante próxima aos 20 cm de profundidade do perfil. Manganês (Mn) apresentou concentração (KK) apenas nos primeiros centímetros do perfil. Os elementos vanádio (V) e ferro (Fe) apresentaram distribuições semelhantes, com concentrações sempre inferiores aos seus clarcs e com pouca variação, apresentando valores de KD sempre entre 1,2 e 3,7 (Fig. 14).

Figura 13 - KK e KD para Co e Cu na paisagem autônoma.



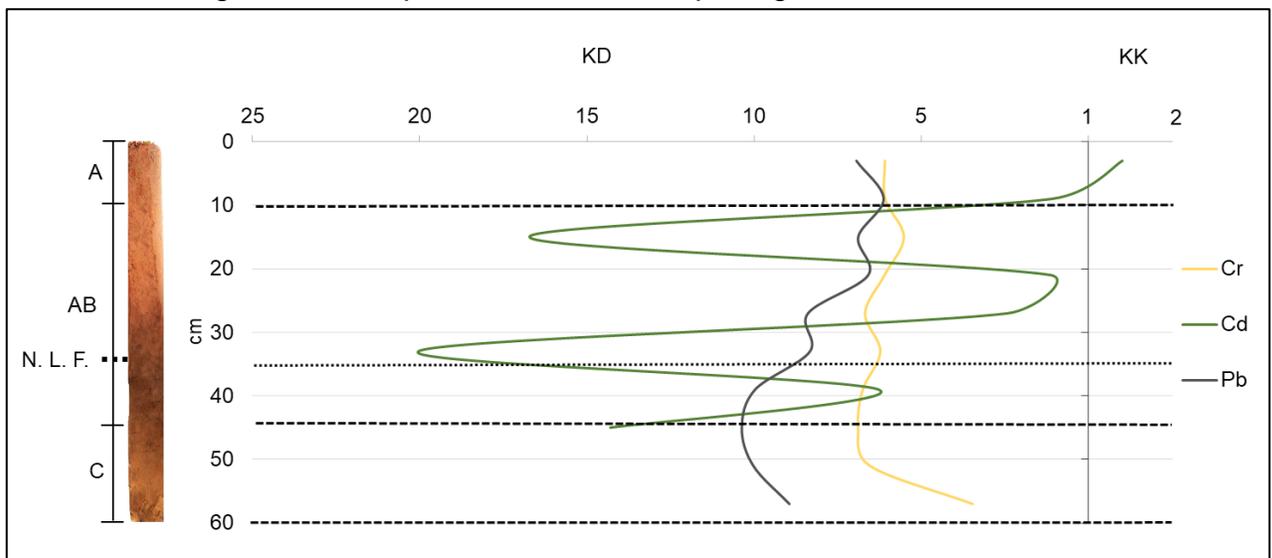
N.L.F.: nível do lençol freático.

Figura 14 - KK e KD para V, Mn, Fe, As, Mo e U da paisagem autônoma.



N.L.F.: nível do lençol freático.

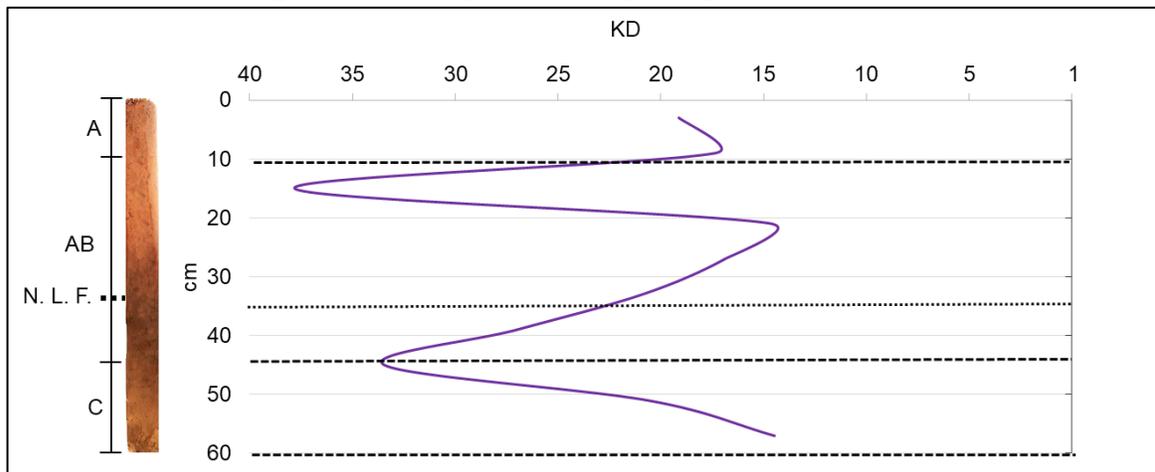
Figura 15 - KD para Cr, Cd e Pb da paisagem autônoma.



N.L.F.: nível do lençol freático.

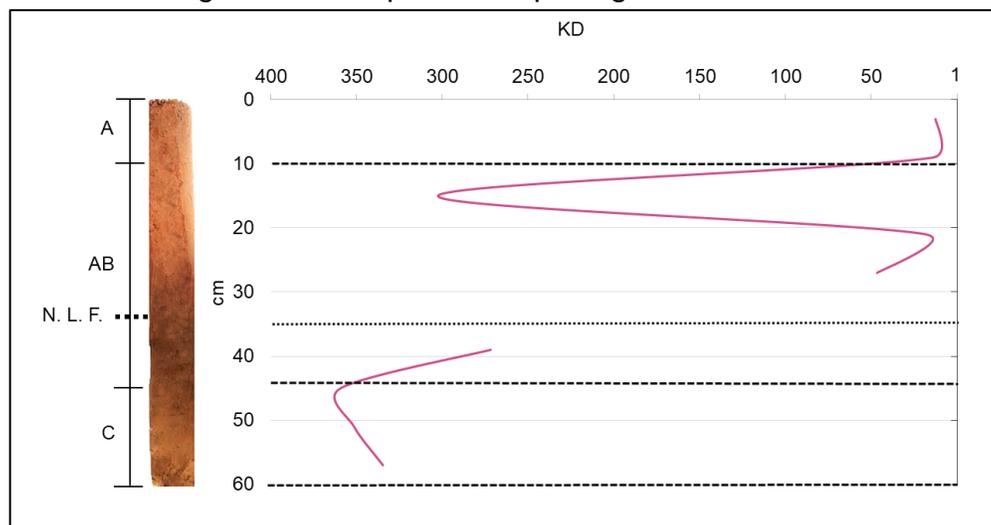
As Figuras 15 e 16 representam os KD de elementos que ocorrem em baixas concentrações na natureza. No ambiente amostrado essas concentrações são ainda menores, resultando em coeficientes de dispersão de valores altos. Na Figura 15 observam-se as distribuições de cromo (Cr), cádmio (Cd) e chumbo (Pb). Destes apenas Cd apresentou uma concentração próxima ao seu Clarc ($0,01 \text{ mg kg}^{-1}$) na primeira camada do solo (KK = 1,01). A Figura 18 apresenta a distribuição do fósforo (P) no solo, os altos valores de KD evidenciam a pobreza do solo nestes nutrientes minerais.

Figura 16 - KD para Zn na paisagem autônoma.



N.L.F.: nível do lençol freático.

Figura 17 - KD para P na paisagem autônoma.



N.L.F.: nível do lençol freático.

4.1.3 Parâmetros geoquímicos da água subterrânea da paisagem autônoma

Durante a amostragem realizada no inverno foi coletada uma amostra de água subterrânea aos 35 cm de profundidade, a Tabela 10 apresenta os valores dos parâmetros físicos químicos determinados. A baixa condutividade indica uma água doce com muito baixa concentração de sais.

Tabela 10 - Água subterrânea da paisagem autônoma.

Parâmetros	
Profundidade (cm)	35
Condutividade (μS)	34
pH	5,7

As Tabelas 11 e 12 apresentam as concentrações (mg L^{-1}) dos principais íons, respectivamente cátions e ânions, na amostra de água, resultados das análises feitas por cromatografia iônica. De modo geral as concentrações de todos os íons foram muito baixas, corroborando com o resultado da condutividade. A concentração do ânion PO_4^{-3} esteve abaixo do limite de detecção do método (Tab. 12), evidenciando a pobreza do solo nestes nutrientes minerais. A Tabela 13 apresenta a concentração dos elementos lítio, magnésio, alumínio, manganês, cobalto, níquel, zinco, índio, bário, cério, térbio, chumbo e urânio. As baixas concentrações obtidas para estes elementos indicam uma água subterrânea bastante pura, pobre em nutrientes minerais, doce e de caráter levemente ácido (Tab. 10).

Tabela 11 - Cátions na água subterrânea (mg L^{-1}) da paisagem autônoma.

Cátions	Concentração	LD	LQ
Na^+	7,3	0,004	0,013
NH_4^+	0,1	0,004	0,013
K^+	0,3	0,125	0,412
Ca^{+2}	6,3	0,004	0,013
Mg^{+2}	1,4	0,031	0,103

LD.: limite de detecção; LQ.: limite de quantificação

Tabela 12 - Ânions na água subterrânea (mg L^{-1}) da paisagem autônoma.

Ânions	Concentração	LD	LQ
F^{-}	0,6	0,031	0,103
Cl^{-}	16,3	0,004	0,013
NO_2^{-}	0,1	0,062	0,206
NO_3^{-}	0,5	0,004	0,013
PO_4^{-3}	<LD	0,125	0,412
SO_4^{-2}	15,9	0,062	0,206

LD.: limite de detecção; LQ.: limite de quantificação

Tabela 13 – Metais na água subterrânea (mg L^{-1}) da paisagem autônoma.

Elemento	Concentração
Li	0,00
Mn	0,87
Co	0,00
Ni	0,00
Co	0,02
Zn	0,02
Ín	0,00
Ba	0,02
Ce	0,01
Tb	0,00
Pb	0,01
U	0,00

4.1.4 Parâmetros geoquímicos das plantas da paisagem autônoma

As cinzas produzidas a partir das amostras de plantas obtidas nos campos nativos tiveram sua composição química determinada pelo método ICP-MS. A Tabela 14 apresenta os resultados das análises realizadas.

Tabela 14 - Metais nas cinzas das plantas (mg kg^{-1}) da paisagem autônoma.

	P. aérea	P. subterrânea	Média
Li	110,3	14,9	62,6
Mg	3208,0	n.d.	3208,0
Al	301,1	n.d.	301,1
Co	0,5	40,1	20,3
Ni	1,5	9,7	5,6
Cu	53,1	1070,1	561,6
Zn	122,4	615,3	368,8
In	0,0	0,0	0,0
Ba	19,9	377,7	198,8
Ce	0,3	42,5	21,4
Tb	0,0	0,1	0,0
Pb	0,7	31,3	16,0
U	0,0	1,3	0,6

P.: parte; n.d.: não determinado.

4.2 Paisagem acumulativa superaquática

A paisagem acumulativa superaquática representa um ambiente de transição entre a paisagem autônoma e a paisagem acumulativa subaquática. Um terreno de relevo plano, mais baixo que a paisagem autônoma, muito úmido e com vegetação composta predominantemente por gramíneas, plantas herbáceas e arbustos baixos. Nessa paisagem o lençol freático comumente aflora à superfície do solo em períodos de alta pluviosidade, entretanto o solo se mantém alagado durante todo o ano (Fig. 18).

Figura 18 - Paisagem acumulativa superaquática.



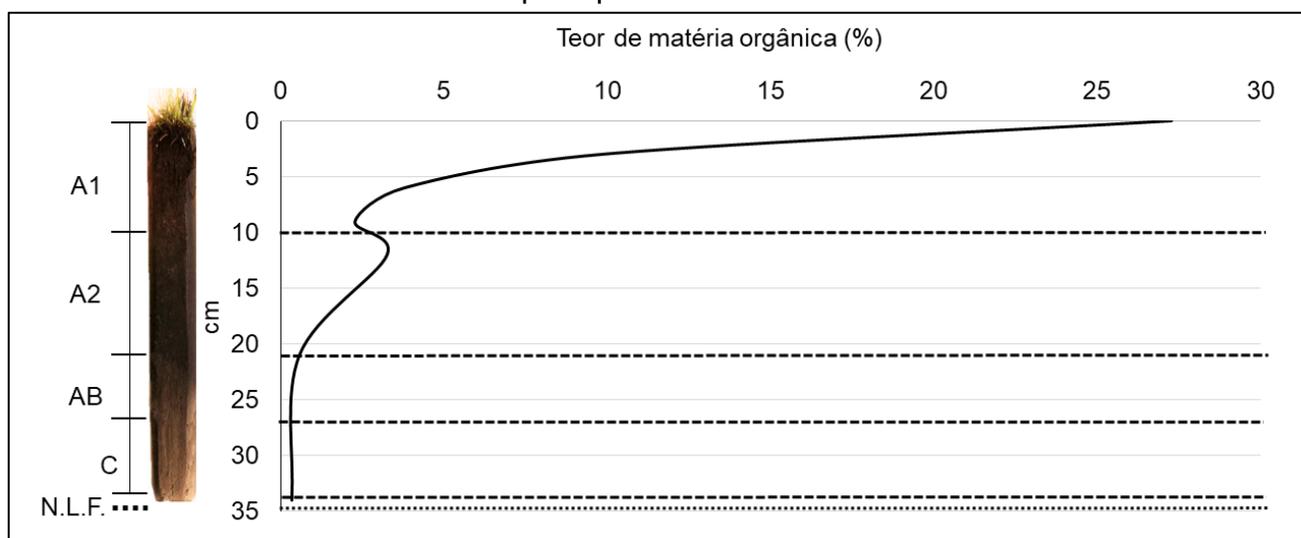
Fonte: produzido pela autora.

4.2.1 Características geoquímicas de solo da paisagem acumulativa superaquática

Nesse ponto foi coletado um perfil de solo até a profundidade de 34 cm. O perfil recuperado apresentou um solo hidromorfo. Os primeiros dez centímetros de profundidade representam o horizonte A1 (húmico), composto de areia fina de coloração cinza muito escuro. Essa camada superior apresentou uma rizosfera bastante densa até seu limite inferior (10 cm). O horizonte A2 estendeu-se entre 10 e 21 cm do perfil, sendo este horizonte composto de areia fina, umidificada e com poucas raízes até os 17 cm. O terceiro horizonte, AB transitório, entre 21 e 27 cm de profundidade, é composto de areias finas de cor cinza claro e sem a presença de raízes. A última camada do perfil, o horizonte B, atingiu dos 27 aos 34 cm sendo composta por areias finas de cor cinza pálido.

A Figura 19 representa o percentual de matéria orgânica no perfil de solo amostrado. Como é possível observar essa paisagem elementar apresenta uma considerável concentração de material orgânico principalmente nos primeiros 10 cm (horizonte A1). Abaixo do horizonte A2 o teor de MO diminui até percentuais próximos a zero.

Figura 19 - Teor de matéria orgânica no solo (%) da paisagem acumulativa superaquática.

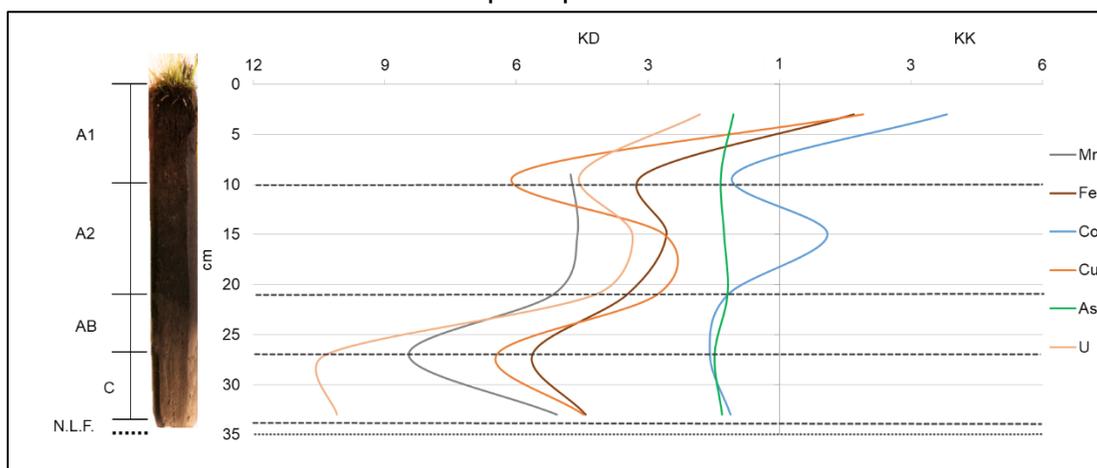


N.L.F.: nível do lençol freático.

As figuras 20 – 24 apresentam as distribuições dos parâmetros KK e KD dos elementos químicos no solo da paisagem superaquática.

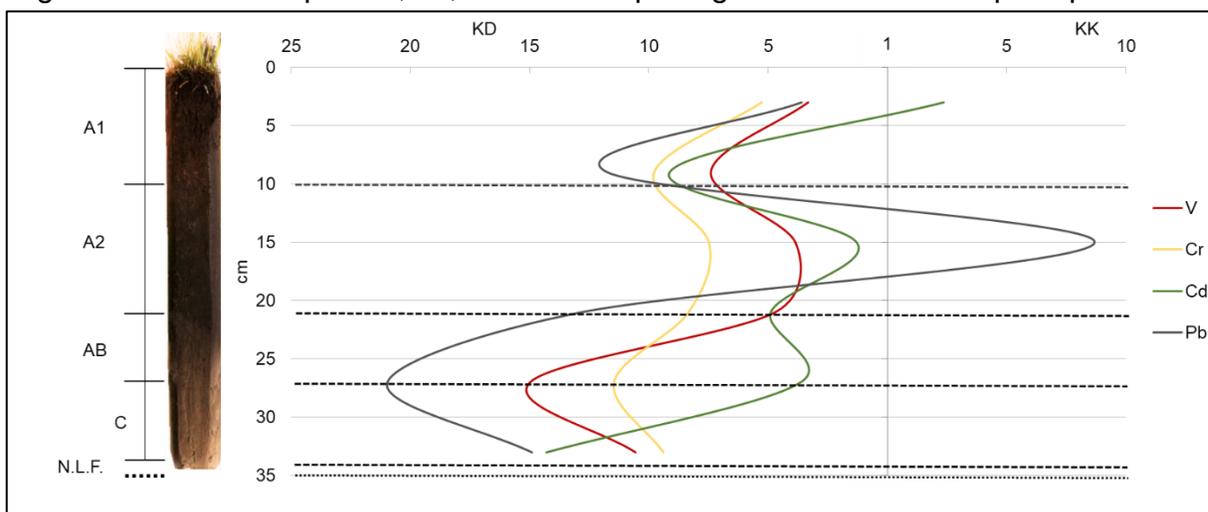
Os elementos Fe e Cu se distribuem de forma similar ao longo do perfil, apresentando acumulação apenas nos primeiros 5 cm de perfil, e um pico nos valores de KD nos 15 cm de profundidade (Fig. 20). De forma similar, os elementos Co (Fig. 20) e Pb (Fig. 21) apresentam concentração (KK) aos 5 cm e aos 15 cm. Os elementos Mo (Fig. 22), Zn (Fig. 23) e P (Fig. 24) somente apresentaram concentrações menores que os seus clarc (KD).

Figura 20 - KK e KD para Mn, Fe, Co, Cu, As e U na paisagem acumulativa superaquática.



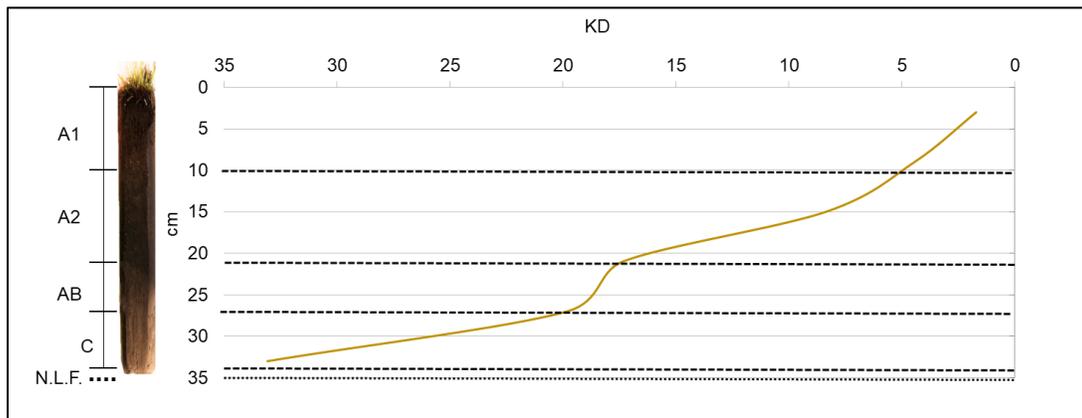
N.L.F.: nível do lençol freático.

Figura 21 - KK e KD para V, Cr, Cd e Pb na paisagem acumulativa superaquática.



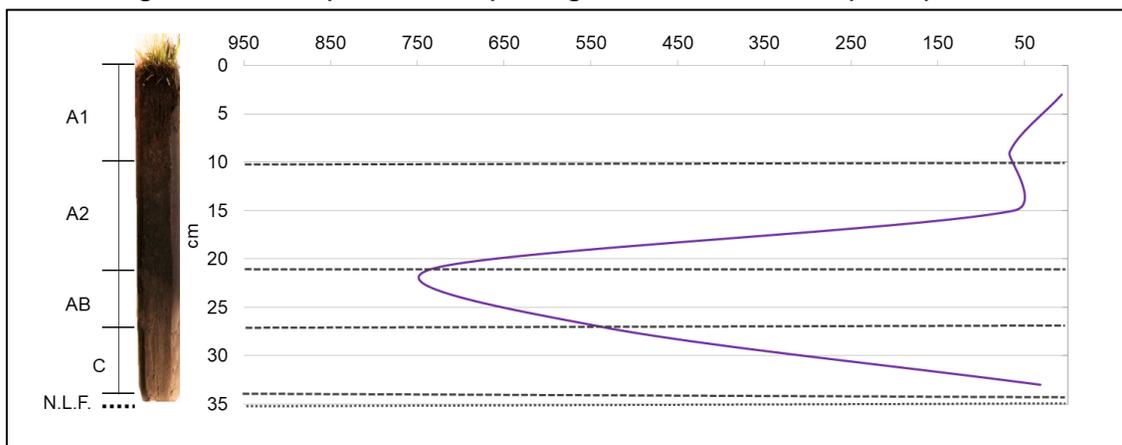
N.L.F.: nível do lençol freático.

Figura 22 - KD para Mo na paisagem acumulativa superaquática.



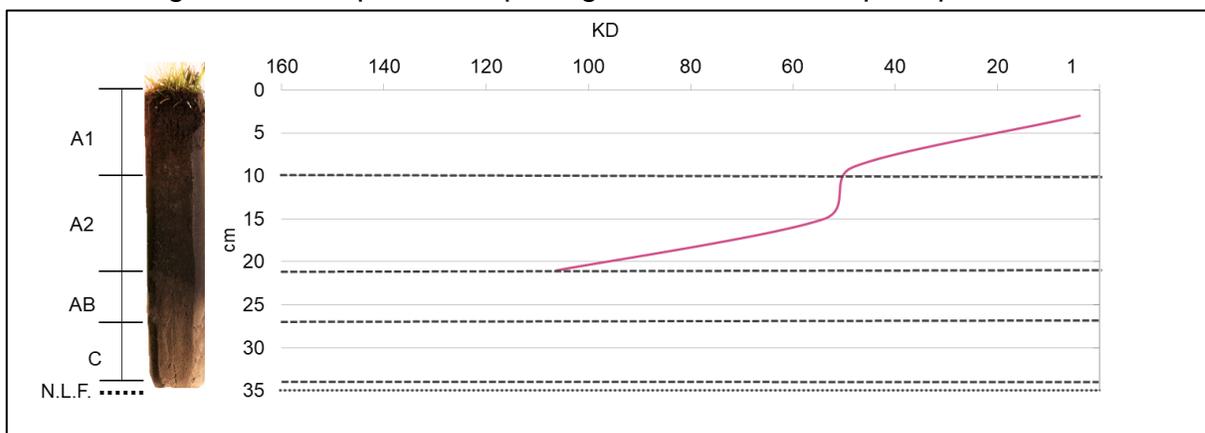
N.L.F.: nível do lençol freático.

Figura 23 - KD para Zn na paisagem acumulativa superaquática.



N.L.F.: nível do lençol freático.

Figura 24 - KD para P na paisagem acumulativa superaquática.



N.L.F.: nível do lençol freático.

4.2.2 Parâmetros geoquímicos da água subterrânea da paisagem acumulativa superaquática.

A água subterrânea da paisagem superaquática foi coletada aos 35 cm de profundidade, de característica neutra (Tab. 15). As Tabelas 16 e 17 apresentam as concentrações dos principais íons presentes na amostra. De forma geral, as baixas concentrações dos íons, especialmente dos ânions NO_2^- e PO_4^{-3} (com valores menores que os limites de detecção do método) indicam que, apesar da paisagem apresentar um teor de matéria orgânica considerável na superfície, o solo é pobre em nutrientes. A Tabela 18 apresenta a concentração de alguns metais na amostra de água.

Tabela 15 - Água subterrânea da paisagem acumulativa superaquática.

Parâmetros	
Profundidade (cm)	35
Condutividade (μS)	738
pH	7,6

Tabela 16 - Cátions na água subterrânea (mg L^{-1}) da paisagem acumulativa superaquática.

Cátions	Concentração	LD	LQ
Na^+	64,7	0,004	0,013
NH_4^+	<LD	0,004	0,013
K^+	6,7	0,125	0,412
Ca^{+2}	39,3	0,004	0,013
Mg^{+2}	10,7	0,031	0,103

LD.: limite de detecção; LQ.: limite de quantificação

Tabela 17 - Aníons na água subterrânea (mg L^{-1}) da paisagem acumulativa superaquática.

Aníons	Concentração	LD	LQ
F^{-}	0,2	0,031	0,103
Cl^{-}	84,0	0,004	0,013
NO_2^{-}	<LD	0,062	0,206
NO_3^{-}	0,3	0,004	0,013
PO_4^{-3}	<LD	0,125	0,412
SO_4^{-2}	0,5	0,062	0,206

LD.: limite de detecção; LQ.: limite de quantificação

Tabela 18 - Metais na água subterrânea (mg L^{-1}) da paisagem acumulativa superaquática.

Elemento	Concentração
Li	0,01
Al	0,38
Mn	4,89
Co	0,00
Ni	0,00
Cu	0,00
Zn	0,01
Ín	0,00
Ba	0,27
Ce	0,00
Tb	0,00
Pb	0,00
U	0,00

4.2.3 Parâmetros geoquímicos das plantas da paisagem acumulativa superaquática.

A paisagem acumulativa superaquática apresentou uma biomassa vegetal média de $57,6 \text{ dt ha}^{-1}$ para o período de alta produção (“verão”). As amostras coletadas eram compostas predominantemente por gramíneas, pequenas ervas e pequenas plantas aquáticas. A Tabela 19 apresenta o peso úmido e seco ($\text{g } 10 \text{ cm}^{-2}$) das amostras coletadas no segundo ponto amostral, enquanto que a Tabela 20 apresenta os teores de cinzas obtidos a partir das plantas coletadas. Os resultados da composição química das cinzas das plantas estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 19 - Peso úmido e seco das amostras de plantas (g 10 cm²) da paisagem superaquática.

Peso úmido						
	#6	#7	#8	#9	#10	Média
P. aéreas	17,3	36,7	49,4	16,7	34,9	31,0
P. Subterrâneas	17,2	31,6	31,9	22,3	30,0	26,6
Total	34,5	68,3	81,3	39,0	64,9	57,6
Peso seco						
P. aéreas	3,7	8,7	7,5	4,1	7,0	6,2
P. Subterrâneas	5,6	6,5	11,7	4,3	4,9	6,6
Total	9,3	15,2	19,2	8,4	11,9	12,8

P.: partes.

Tabela 20 - Teor de cinzas das plantas (%) da paisagem acumulativa superaquática.

	Partes aéreas			Partes subterrâneas		
	F6	F7	F8	R6	R7	R8
Peso da amostra (g)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Peso das cinzas (g)	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
Teor de cinzas (%)	6,7	6,7	10,0	6,7	6,7	6,7
Teor de cinzas médio	7,8			6,7		

Tabela 21. Metais nas cinzas das plantas (mg kg⁻¹) da paisagem acumulativa superaquática.

	P. aéreas	P. subterrâneas	Média
Li	245,2	641,6	443,4
Mg	3831,9	n.d.	3831,9
Al	929,4	n.d.	929,4
Mn	808,5	n.d.	808,5
Co	0,0	20,0	10,0
Ni	0,0	1,7	0,9
Cu	0,4	87,2	43,8
Zn	0,5	93,6	47,1
In	0,1	0,0	0,0
Ba	80,7	189,8	135,3
Ce	0,1	1,7	0,9
Tb	0,0	0,0	0,0
Pb	0,4	1,6	1,0
U	0,0	0,1	0,0

P.: partes; n.d.: não determinado.

4.3 Paisagem acumulativa subaquática

A paisagem acumulativa subaquática é representada por um lago de sedimento arenoso e baixa profundidade, margeado por um banhado. A cobertura vegetal do lago era composta predominantemente por macrófitas flutuantes sem enraizamento no sedimento (Fig. 25).

Figura 25 - Paisagem acumulativa subaquática.

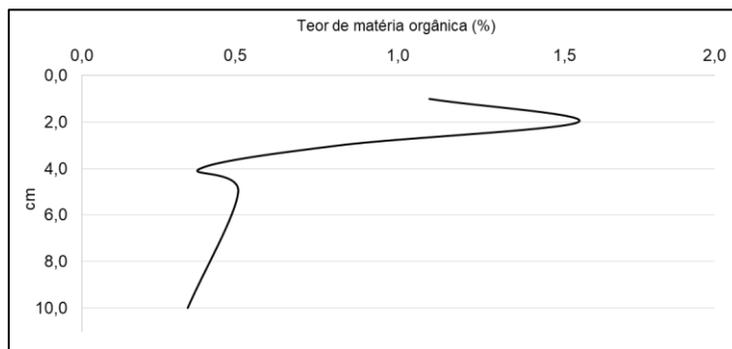


Foto: produzido pela autora.

4.3.1 Características geoquímicas dos sedimentos da paisagem acumulativa subaquática

Na paisagem acumulativa, próximo às margens do lago ultrapassando a zona do banhado (cerca de 3 m), na profundidade de aproximadamente 1,1 m foi coletado um perfil de sedimentos de 11 cm, predominantemente composto por areias finas de cor clara, com poucos detritos orgânicos apenas na superfície do perfil (1 – 2 cm) e sem a presença de raízes. A Figura 26 representa o teor de matéria orgânica ao longo desse perfil de sedimentos. O sedimento arenoso mostrou-se pobre em matéria orgânica, concentrando-a na camada superficial (2 cm).

Figura 26 - Teor de matéria orgânica dos sedimentos (%) da paisagem acumulativa.



As Figuras 27 – 29 representam os KD e KK dos elementos químicos na paisagem acumulativa. Apenas o elemento Co apresentou valores de KK (entre 1,1 e 1,3) (Fig. 27). Os valores de KK para os elementos Mn e Cu variaram entre 2,1 e 5,2 (Fig. 27), para os elementos Pb e U os valores variaram mais, entre 7,0 e 15,3 (Fig 28). O elemento Zn (com KD entre 34,6 e 87,0) apresenta uma ligeira concentração entre 6 e 8 cm de profundidade, a partir dessa profundidade uma redução acentuada na concentração (e aumento de KD) (Fig. 29).

Figura 27 - KK e KD para Mn, Cu e Co nos sedimentos da paisagem acumulativa.

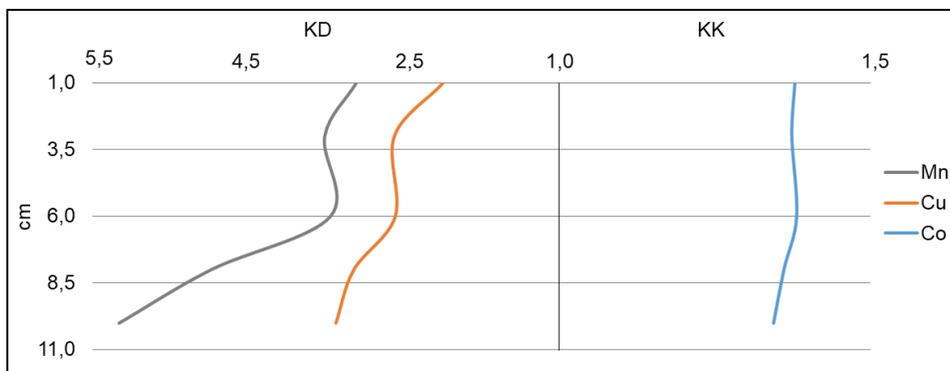


Figura 28 - KD para Pb e U nos sedimentos da paisagem acumulativa.

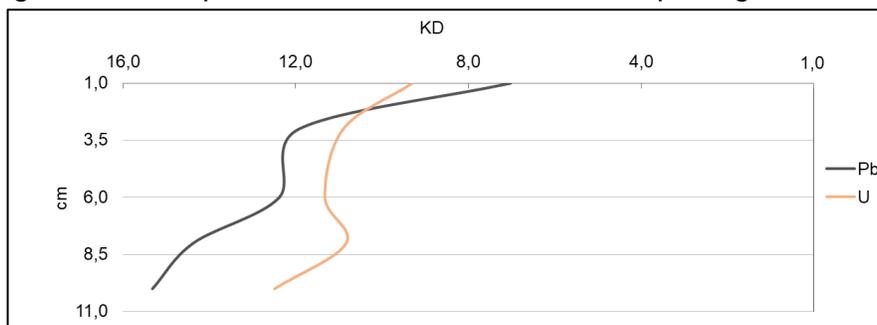
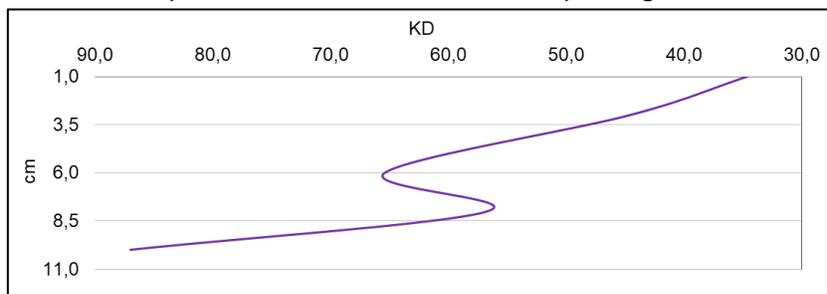


Figura 29 - KD para Zn nos sedimentos da paisagem acumulativa.



4.3.2 Parâmetros geoquímicos da água da paisagem acumulativa subaquática

A água da paisagem acumulativa foi coletada no mesmo ponto que o perfil de sedimento, à superfície do lago. A amostra representou uma água doce e muito límpida com um caráter levemente ácido (Tab. 22). As Tabelas 23 e 24 apresentam as concentrações dos principais íons, bastante baixas, especialmente para os nutrientes amônio, nitrato e fosfato, que não foram detectados na amostra.

Tabela 22 - Água superficial da paisagem acumulativa.

Parâmetros	
Condutividade (μS)	97,3
pH	6,1

Tabela 23 - Cátions na água (mg L^{-1}) da paisagem acumulativa.

Cátions	Concentração	LD	LQ
Na^+	9,2	0,004	0,013
NH_4^+	<LD	0,004	0,013
K^+	2,8	0,125	0,412
Ca^{+2}	0,4	0,004	0,013
Mg^{+2}	0,2	0,031	0,103

LD.: limite de detecção; LQ.: limite de quantificação

Tabela 24 - Aníons na água (mg L^{-1}) da paisagem acumulativa.

Aníons	Concentração	LD	LQ
F^-	0,1	0,031	0,103
Cl^-	13,7	0,004	0,013
NO_2^-	<LD	0,062	0,206
NO_3^-	0,1	0,004	0,013
PO_4^{-3}	<LD	0,125	0,412
SO_4^{-2}	0,8	0,062	0,206

LD.: limite de detecção; LQ.: limite de quantificação

Os resultados da análise da composição química (Tab. 25) também mostraram a pobreza de elementos metálicos na amostra, podendo ser comparada uma água de chuva.

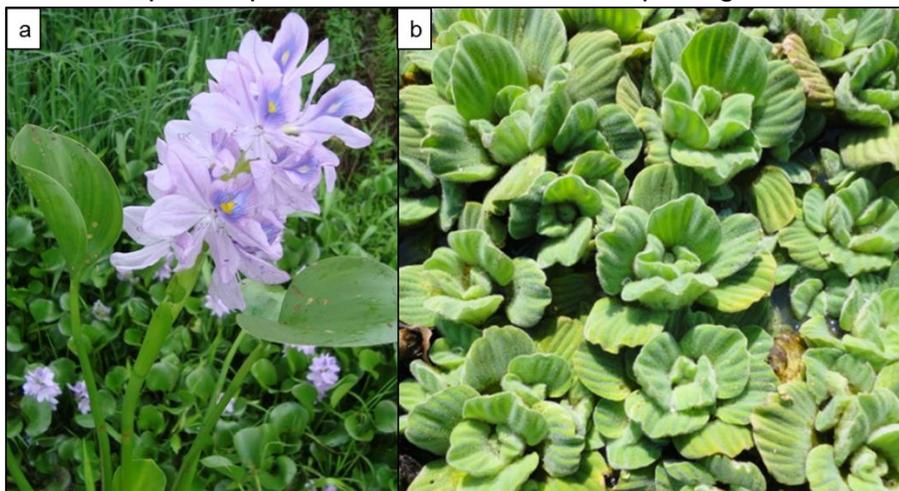
Tabela 25 - Metais na água (mg L^{-1}) da paisagem acumulativa.

Elemento	Concentração
Li	0,00
Mg	19,71
Al	1,20
Mn	0,00
Co	0,00
Ni	0,00
Cu	0,00
Zn	0,01
In	0,00
Ba	0,01
Ce	0,00
Tb	0,00
Pb	0,00
U	0,00

4.3.3 Parâmetros geoquímicos das plantas da paisagem acumulativa subaquática

A Tabela 26 apresenta os resultados da análise de composição química das cinzas das plantas coletadas no banhado às margens do lago, predominantemente macrófitas das espécies *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms e *Pistia stratiotes* L. (Fig. 30).

Figura 30 - Espécies presentes nas amostras da paisagem acumulativa.



a) *Eichhornia crassipes*; b) *Pistia stratiotes*. Fotos: Flora Digital
 <<http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/>>

Tabela 26 – Metais nas cinzas das plantas (mg kg^{-1}) da paisagem acumulativa.

	P. aéreas	P. subaquáticas	Média
Li	196,9	65,8	131,4
Mg	2852,6	1525,8	2189,2
Al	781,8	457,3	619,6
Mn	896,6	n.d.	896,6
Co	0,0	7,3	3,6
Ni	0,0	1,1	0,6
Cu	10,2	53,2	31,7
Zn	0,8	19,7	10,3
In	0,1	0,0	0,0
Ba	18,6	12,8	15,7
Ce	0,1	0,4	0,2
Tb	0,0	0,1	0,0
Pb	0,3	10,1	5,2
U	0,0	0,4	0,2

P.: partes; n.d.: não determinado.

5. DISCUSSÃO

A paisagem elementar autônoma foi caracterizada quanto a produtividade e biomassa vegetal (Tab. 9), esses valores foram utilizados para realizar a classificação geoquímica da paisagem da Restinga da Lagoa dos Patos. De acordo com os resultados obtidos a paisagem estudada encontra-se em uma posição entre o grupo das savanas e o grupo dos banhados vegetados por gramíneas (Fig. 11), entretanto não se classificando em nenhum dos dois grupos. Com base nesses resultados foi atribuída a paisagem estudada o nome de Pampa subtropical litorâneo.

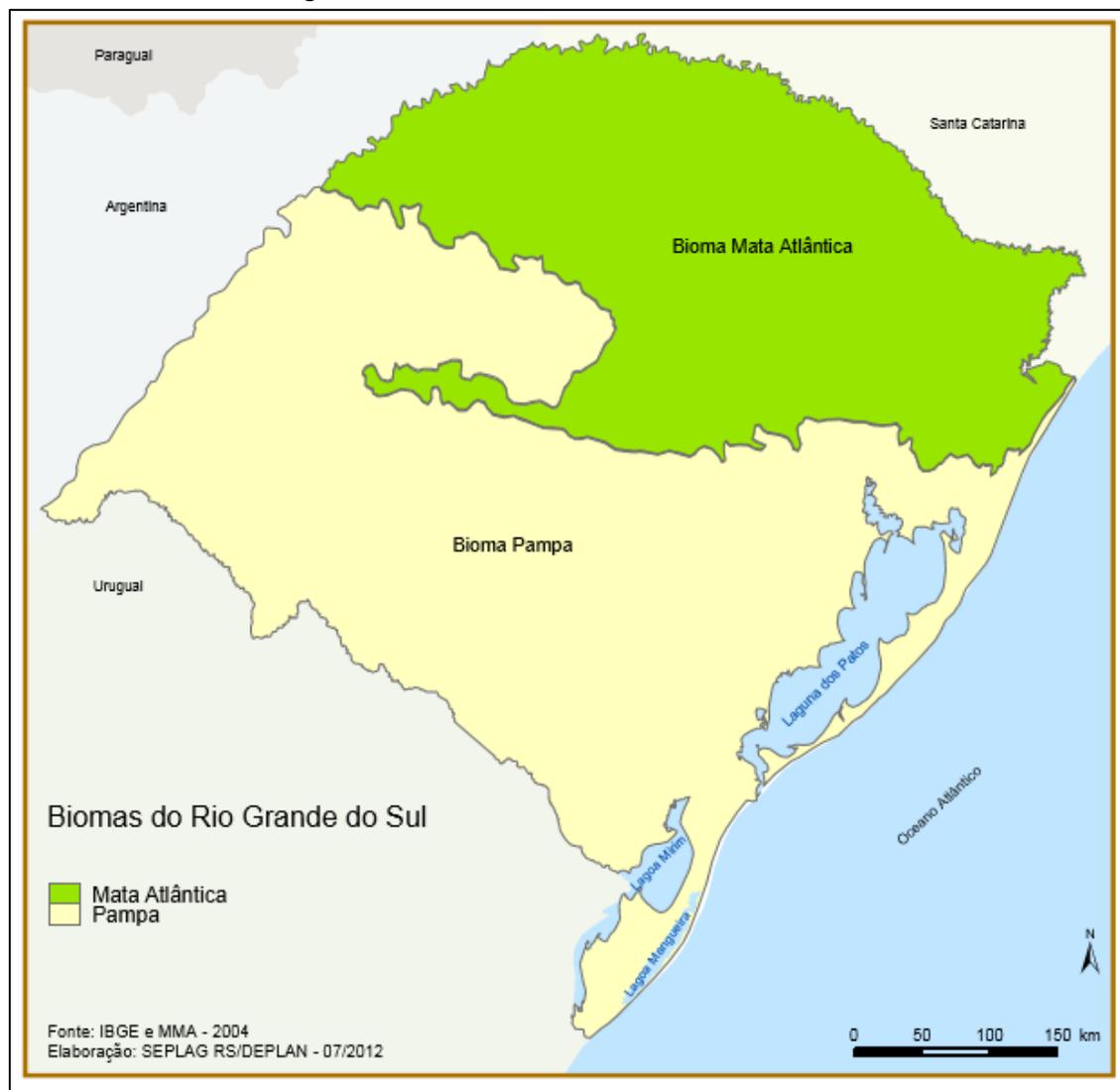
Apesar da área estudada ser classificada como uma restinga litorânea (WAECHTER, 1985; 1990; TAGLIANI, C. R. A., 1995; TAGLIANI, P. R. A., 2011), encontra-se também dentro no bioma Pampa (Fig. 31). No Brasil o bioma Pampa é restrito ao estado do Rio Grande do Sul representando 63% da área estadual e pouco mais de 2% do território nacional. Na América do Sul o bioma é compartilhado com o Uruguai e com a Argentina se estendendo por cerca de 750 mil km² (MMA, 2017). O Pampa é um bioma de relevos variados (serras, morros rupestres e planícies) proporcionando uma elevada biodiversidade à qual é associada um imenso patrimônio cultural. Dentre as paisagens naturais pampeanas predominam os campos nativos, mas ocorrem matas, butiazais, afloramentos rochosos, florestas, banhados, campos de dunas e etc. (PORTAL BRASIL, 2017).

O aspecto geral da vegetação dos Pampas é frequentemente comparado às savanas (SCHÄFER *et al.*, 2009), entretanto essa comparação é mais comumente usada em estudos realizados no interior do estado.

As savanas são ecossistemas estáveis, cuja ocorrência no RS está associada a solos mal drenados, em regimes de má distribuição de chuvas. Floristicamente são dominadas por poáceas, mas também incluem ervas, arbustos e algumas árvores características[...]. (EVALDT *et al.*, 2014, p. 184).

Entende-se por “poáceas” as plantas da família *Poaceae*, composta por capins, gramas e relvas (SMA-SP, 2017). Em uma publicação em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Goedert *et al.*, (2014) define savanas como ecossistemas caracterizados por uma contínua vegetação herbácea e um dossel descontínuo de arbustos e árvores; entretanto o mesmo documento faz referência apenas ao bioma Cerrado quando discute aspectos relacionados às savanas no Brasil.

Figura 31 - Biomas do Rio Grande do Sul.

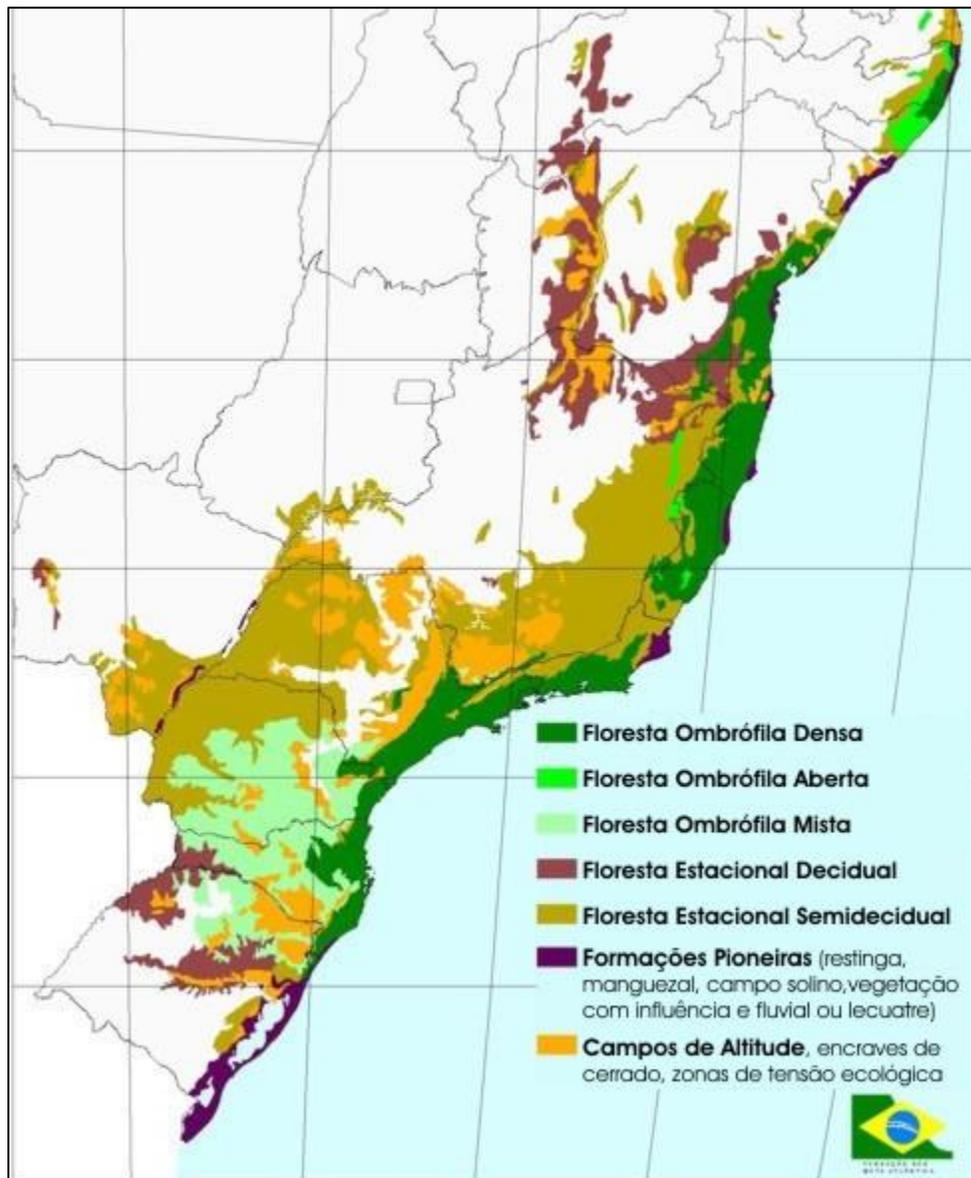


Fonte: www.mma.gov.br/biomas/pampa

Adicionalmente à conflituosa comparação entre Pampas e savanas, estudos acerca da extensão das formações vegetais que compõe o bioma Mata Atlântica abarcam o litoral gaúcho, caracterizando-o como Zona de Formações Pioneiras, assim como as demais regiões das mais extensas restingas brasileiras (Fig. 32) (RBMA, 2017). Ainda nesse sentido a Resolução CONAMA nº 441/2012 (que lista as espécies indicadoras dos estágios sucessionais de vegetação de restinga para o RS) é bastante clara quanto à associação do ecossistema restinga ao bioma Mata Atlântica, assim como a Resolução CONAMA nº 417/2009, que define parâmetros de caracterização da vegetação das restingas de todo Brasil. Embora o termo restinga seja amplamente aceito para caracterização da região do estudo, são raros os trabalhos que associam a região ao bioma Mata Atlântica, sendo muito mais frequentemente associada ao bioma Pampa.

Diante de todas essas possibilidades de classificação a geoquímica da paisagem apresenta-se como uma ferramenta útil à melhor compreensão das características biogeoquímicas do ecossistema, podendo contribuir com a elucidação desse conflito de classificações. Todavia, o fato deste ser o primeiro estudo utilizando a geoquímica da paisagem realizado na América do Sul, impôs uma série de obstáculos. Dentre os principais, a quantificação da biomassa arbórea apresentou-se peculiarmente desafiadora. A ausência de uma metodologia capaz de estimar a biomassa representada pelas matas de restingas levou a uma adaptação de métodos, deixando lacunas, sobretudo no que diz respeito à contribuição das raízes, já que os poucos estudos realizados no Brasil se detêm apenas à biomassa acima do solo. As equações 6 e 7, adotadas para a realização dos cálculos, também não eram próprias ao ambiente em questão. Sendo assim estudos mais detalhados a respeito da produção de biomassa arbórea, tanto acima como abaixo do solo, deveriam ser realizados nas matas da região, não apenas para dar segmento ao processo de classificação geoquímica da paisagem da Restinga da Lagoa dos Patos, mas para uma melhor compreensão dos processos ecológicos que ocorrem nesses ambientes e nos demais ambientes interligados.

Figura 32 - Fisionomias vegetais inseridas no Domínio da Mata Atlântica



Fonte: http://www.rbma.org.br/anuario/mata_02_eco__sistema.asp

Em relação aos parâmetros geoquímicos determinados foi possível observar que de forma geral, o solo e a água subterrânea da paisagem autônoma são pobres em nutrientes, a matéria orgânica no solo (predominantemente arenoso) se acumula nos primeiros 10 cm do perfil, em teores de 4,4 a 1,2 % (Fig. 12). No solo poucos elementos foram detectados em concentrações mais elevadas do que o clarc para ambientes arenosos, entre eles destacam-se Mo, As, Cu e Co, sendo que apenas esse último apresentou clarc de concentração (KK) ao longo de todo o

perfil amostrado (Figs. 13 e 14). Elementos como Zn e P ocorrem em baixíssimas concentrações, apresentando valores elevados de coeficiente de dispersão (KD) (Fig. 15 e 16). A água subterrânea amostrada, de caráter moderadamente ácido (pH 5,7) (Tab. 10) também apresentou baixas concentrações de íons (Tabs. 11 e 12). O ânion PO_4^{-3} (ortofosfato), um importante fitonutriente, não foi detectado pelo método de análise adotado (Tab. 12).

A paisagem acumulativa superaquática (paisagem de transição), assim chamada devido ao nível do lençol freático aflorar à superfície e coincidir com o horizonte húmico do solo, mantendo o terreno alagado mesmo em regime de pouca pluviosidade, representa a transição entre a paisagem autônoma e a acumulativa subaquática (nessa o horizonte húmico está abaixo de uma coluna d'água). Devido às características do solo (argilo-arenoso e hidromorfo) os teores de matéria orgânica obtidos são consideravelmente maiores que na paisagem autônoma. Nos primeiros 10 cm do perfil os teores variaram entre 27,3 e 2,3 % (Fig. 19). Assim como na paisagem autônoma na paisagem de transição poucos elementos apresentam KK, destacando Cd, Co, Cu e Fe (Figs. 20 e 21), entretanto nenhum desses mantém a concentração acima do clarc para ambientes arenosos ao longo de todo o perfil. O elemento P também ocorre em baixas concentrações (KD), entretanto em concentrações maiores do que na paisagem autônoma (Fig. 24). Nesse local alguns elementos encontram-se em concentrações médias (média das concentrações observadas ao longo do perfil) mais elevadas do que na paisagem autônoma, dentre eles se destacam Na, P, Co e Pb (Tab. 27). Os valores dos coeficientes de migração local, apresentados na Tabela 27, quando acima de 1,0 indicam uma possível migração do elemento da paisagem autônoma para a acumulativa. De uma forma geral, foi possível observar que a maioria dos elementos ocorrem em concentrações maiores na paisagem acumulativa superaquática ($\text{C.M.L} > 1,0$), ainda que essas concentrações sejam baixas.

Tabela 27 - Concentrações médias dos elementos nos solos (mg kg^{-1}) das paisagens autônoma e acumulativa superaquática e coeficientes de migração local.

	Be	B	Na	P	S	Ca	Sc	Ti	V	Eu
P. autônoma	0,0	0,5	36,1	9,7	4,8	66,6	0,0	192,7	8,7	0,1
P. superaquática	0,0	2,0	125,1	20,3	142,5	1636,2	0,0	129,6	3,6	0,1
C.M.L	1,0	4,2	3,5	2,1	29,7	24,6	1,0	0,7	0,4	1,5
	Cr	Fe	As	Se	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Gd
P. autônoma	6,0	14545,1	0,9	0,1	0,4	8,2	4,2	0,6	0,3	0,4
P. superaquática	4,3	14498,0	0,8	0,1	3,6	2,4	22,4	2,5	0,5	0,4
C.M.L	0,7	1,0	0,9	1,3	9,4	0,3	5,3	4,1	1,5	1,2
	Pr	Nd	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Cs	La	Sm
P. autônoma	0,5	2,0	0,1	0,1	0,0	0,3	0,0	0,5	13,8	0,4
P. superaquática	0,6	2,2	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,3	12,2	0,4
C.M.L	1,1	1,1	0,3	1,2	1,6	0,8	0,5	0,5	0,9	1,2
	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	W	Th		
P. autônoma	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,4		
P. superaquática	0,4	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2		
C.M.L	1,4	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	0,9	0,5		

P.: paisagem; C.M.L: coeficiente de migração local.

A água subterrânea da paisagem de transição, praticamente neutra (pH 7,6) (Tab. 15) também apresentou uma maior concentração de cátions em relação a água da paisagem autônoma, exceto pelo NH_4^+ (amônio) que não foi detectado na amostra (Tab. 16). Contraditoriamente os ânions estiveram em concentrações menores (exceto Cl⁻); PO_4^{3-} e NO_2^- (nitrito) não foram detectados na amostra. Apesar da elevada concentração de matéria orgânica, a paisagem de transição apresenta, tanto no solo quanto na água, baixas concentrações de importantes nutrientes minerais.

A paisagem acumulativa subaquática, um lago de pouca profundidade (cerca de 1,1 m) apresentou sedimentos arenosos, com uma fina camada superficial de detritos orgânicos, os teores de matéria orgânica determinados foram os mais baixos dentre as três paisagens estudadas, máximo de 1,6 % (Fig. 26). O único elemento que apresentou valores de KK foi Co (Fig. 27). As Figuras 33 e 34 apresentam uma comparação entre as concentrações médias de alguns elementos nas três paisagens estudadas. Comparativamente, os elementos Co e Pb ocorreram em maiores concentrações na paisagem de transição, enquanto que

para Cu, Zn e U as concentrações estiveram mais altas na paisagem autônoma, diminuindo nas paisagens acumulativas superaquática e subaquática.

Figura 33 - Concentração média dos elementos Co, Cu, Zn e U (mg kg^{-1}) nas paisagens.

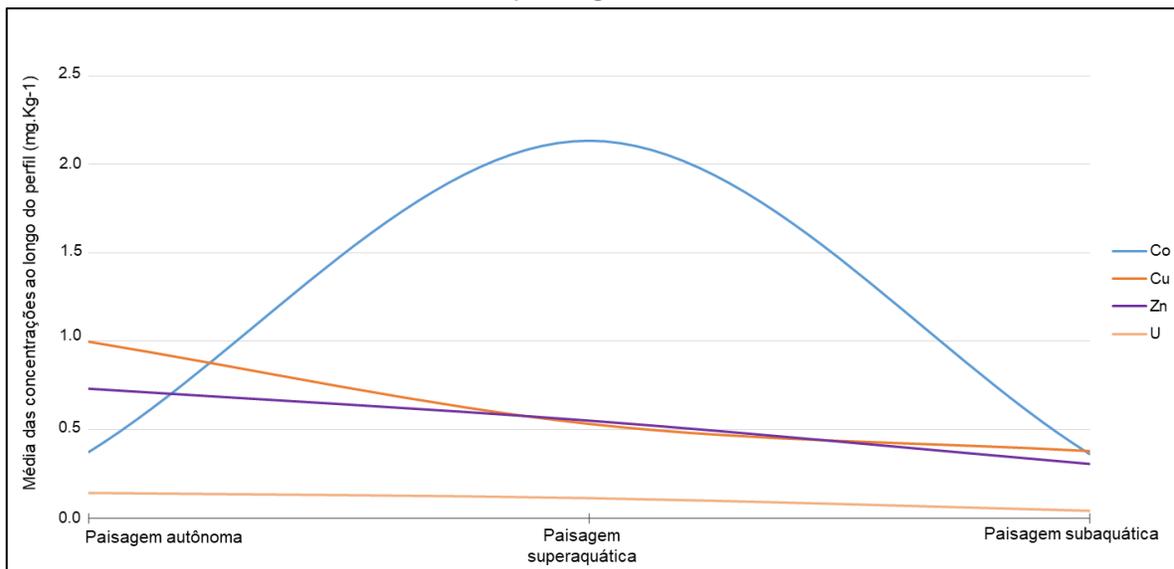
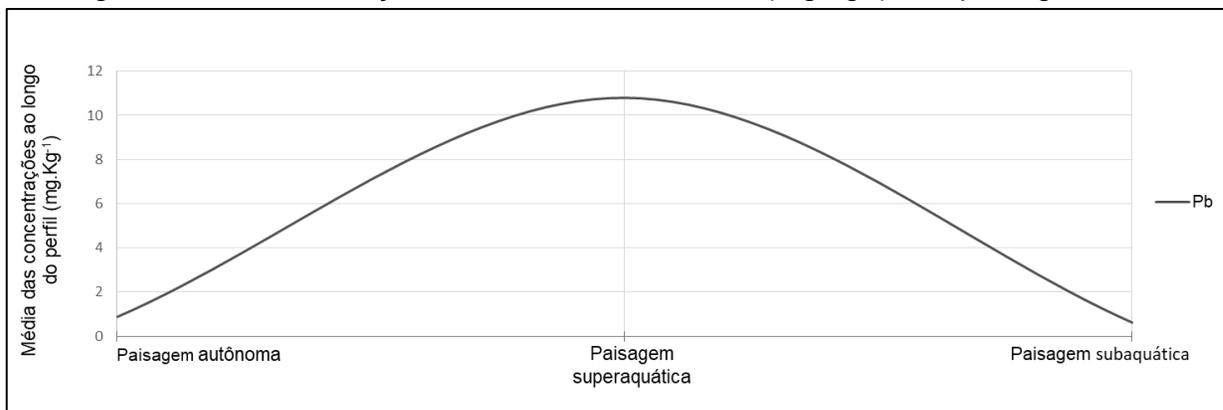


Figura 34 - Concentração média do elemento Pb (mg kg^{-1}) nas paisagens.



6. CONCLUSÕES

A Restinga da Lagoa dos Patos (RLP) foi classificada de acordo com os critérios fundamentais de classificação das paisagens geoquímicas, e a paisagem estudada foi nomeada como Pampa subtropical litorâneo. O presente estudo foi a primeira experiência em aplicação da metodologia desenvolvida por Perel'man a ser realizado no Brasil, contribuindo com o desenvolvimento dessa ciência, além de fornecer um background geoquímico para a região. De acordo com os parâmetros de biomassa e produtividade da paisagem elementar autônoma foi determinada a posição da Restinga da Lagoa dos Patos na classificação geoquímica. Sua posição encontra-se entre o grupo das savanas (B1) e o grupo dos banhados (B3) (Fig 12).

Os solos e os sedimentos amostrados apresentaram uma baixa concentração de macroelementos químicos, sendo muito pobres em nutrientes minerais e matéria orgânica. De um modo geral, os coeficientes de migração local (Tab. 27), entre a paisagem autônoma e a paisagem acumulativa superaquática, mostraram que ocorre uma fraca transferência de elementos entre essas paisagens elementares. Entretanto essa migração de elementos não é expressiva entre as paisagens acumulativas superaquática e subaquática. As amostras de águas também se mostraram igualmente pobres em nutrientes, com muito baixas concentrações dos cátions e ânions analisados, alguns nem sequer foram detectados pelo método de análise. O caráter levemente ácido das águas subterrâneas contribui com a migração de elementos entre as paisagens, ainda que essa migração não ocorra de forma intensa.

Conforme observado a pobreza de metais e nutrientes nos solos e a ocorrência de migração de elementos entre as paisagens elementares são características da fragilidade desse ambiente. O *background* geoquímico é consideravelmente baixo e a migração dos elementos entre as paisagens ocorre, mesmo que não seja intensa. Dessa forma quaisquer fontes de contaminação química, mesmo que leves, podem ser consideradas potencialmente impactantes para o ambiente estudado, pois níveis consideráveis de poluição poderiam ser facilmente atingidos.

Assim sendo, o estudo conclui que os ambientes da Restinga da Lagoa dos Patos são consideravelmente suscetíveis a contaminação química. A instalação de empreendimentos industriais e estruturas urbanas deve ser considerada com demasiada cautela visto que um mínimo aporte de poluentes pode ser potencialmente impactante aos solos e às águas da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEUS, A. A.; GRABOVSKAIA, L. I.; TICHONOVA, N. V. **Environmental geochemistry**. Nedra: Moscou. 347 p. 1976.

BOLDRINI, I. I. *et al.* **Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica**. Porto Alegre: Editora Pallotti, 2010.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº417**, de 23 de novembro de 2009. Dispõe sobre parâmetros básicos para definição de vegetação de restinga na Mata Atlântica. Publicada no D.O.U. de 24 de novembro 2009. p. 72.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº441**, de 23 de novembro de 2012. Aprova a lista de espécies da vegetação de restinga para o estado do Rio Grande do Sul. Publicado no D.O.U. de 03 de janeiro 2012. p.124.

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. **Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data**. Forest Science, v.35, n.4, p.881-902, 1989.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer**. Food & Agriculture Org., 1997.

CETEC. CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Determinação de equações volumétricas aplicáveis ao manejo sustentado de florestas nativas no estado de Minas Gerais e outras regiões do país: relatório final**. Belo Horizonte, 1995.

CORDAZZO, C. V.; SEELIGER, U. **Guia ilustrado da vegetação costeira no extremo sul do Brasil**. Rio Grande: Fundação Universidade do Rio Grande. ISBN 8585042222, 1988.

DIAS, H. C. T.; OLIVEIRA-FILHO, A.T. **Variação temporal e espacial da produção de serapilheira em uma área de floresta estacional semidecídua montana em Lavras-MG**. Revista Árvore, v. 21, n. 1, p. 11-26. 1997.

DORNELES, L. P. P.; WAECHTER, J. L. **Estrutura do componente arbóreo da floresta arenosa de restinga do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, Rio Grande do Sul**. São Paulo: Hoehnea. v. 31, p. 61-71, 2004.

EBR. **Estaleiros do Brasil Ltda**. Disponível em:< <http://www.ebrbrasil.com/o-estaleiro>>. Acesso em 14 mar. 2016.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro. 3 ed. 2013.

EVALDT, A. C. P.; BAUERMANN, S. G.; DE SOUZA, P. A. **Registros polínicos para o Holoceno Tardio da região da Campanha (Rio Grande do Sul, Brasil) e seu significado na história dos paleoambientes da Savana Estépica Parque.** Porto Alegre: Revista Brasileira de Paleontologia. v. 17, n. 2, p. 183-194, 2014.

GOEDERT, W. J.; WAGNER, E.; BARCELLOS, A. O. **Savanas tropicais: dimensão, histórico e perspectivas. Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais.** Planaltina: Embrapa Cerrados. p. 49-80, 2008.

FIGUEIREDO FILHO, A. et al. **Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma floresta ombrófila mista localizada no sul do estado do Paraná.** Ciência florestal, v. 13, n. 1, p. 11-18. 2005.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa: Editora Plantarum. v. 1, 5. ed. 2008.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa: Editora Plantarum. v. 2, 3. ed. 2002.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa: Editora Plantarum. v. 3, 1. ed. 2009.

MMA. **Ministério do Meio Ambiente.** Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em: 20 fev. 2016.

MMA. **Ministério do Meio Ambiente.** Bioma Pampa. Disponível em: <www.mma.gov.br/biomas/pampa>. Acesso em: 20 jul. 2017.

MIRLEAN, N; TELLES, R. M; DUARTE, G.M. **O que é geoquímica da paisagem?** Geosul, v.21, n.41, 2006.

NAZAROV, A. G. **Landscape geochemistry as the theoretical basis of geochemical prospecting methods.** International Geology Review, v. 7, n. 9, p. 1583-1587, 1965.

NECHAYEVA, E. G; DAVYDOVA, N. D. **The advancement of landscape-geochemical research in Siberia.** Geography and Natural Resources, v. 31, n. 3, p. 209-214, 2010.

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia.** São Paulo: Thomson. 5 ed. 2007.

ONU. **Organização das Nações Unidas.** Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015>>. Acessado em: 20 fev. 2016.

PEREIRA, F. G. **O pampa como bioma e paisagem cultural**: Um estudo de percepção ambiental e preferência paisagística. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande: FURG. 2012.

PEREL'MAN, A. I; KASIMOV N.S. **Geochemistry of landscape**. Moscou: Astrea, 1999. (Em russo).

PERÔNICO, C; CASTRO, P. T. A. **Recuperação de testemunhos sedimentares em ambientes lacustres assoreados do complexo de lagos do médio vale do rio Doce**. Minas Gerais: Natureza online. Disponível em: <www.naturezaonline.com.br>. 2010.

PINHEIRO, R. M. **Paisagens ameaçadas da Restinga da Lagoa dos Patos (RS), na perspectiva dos investimentos em petróleo e gás**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande: FURG. 2016.

POLETTE, M; VIEIRA, P. H. F. **Avaliação do processo de gerenciamento costeiro no Brasil: bases para discussão**. Santa Catarina, 2005.

PORTAL BRASIL. **Ministérios e secretarias do governo federal**. Biomas brasileiros. Disponível em: <www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2009/10/biomas-brasileiros>. Acesso em: 22 jul. 2017.

PROMINP. **Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás Natural**. Disponível em: <www.prominp.com.br>. Acesso em: 13 mar. 2016.

RBMA. **Reserva da Biosfera da Mata Atlântica**. Fitofisionomias do domínio mata atlântica. Disponível em: <www.rbma.org.br/anuario/mata_02_eco_ssistema.asp>. Acesso em: 22 jul. 2017.

REITZ, R; KLEIN, R. M; REIS, A. **Projeto madeira do rio grande do sul**. Porto Alegre: Sellowia, 1983.

RGM. **Rio Grande Mineradora S.A.** Disponível em: <www.rgminer.com.br>. Acesso em: 13 mar. 2016.

RODRIGUES, E. N. L. **Araneofauna de serapilheira de duas áreas de uma mata de restinga no município de Capão do Leão, Rio Grande do Sul, Brasil**. Biotemas, v. 18, n. 1, p. 73-92, 2005.

SCHÄFER, A.; LANZER, R.; PEREIRA, R. **Atlas Socioambiental dos municípios de Mostardas, Tavares, São José do Norte e Santa Vitória do Palmar**. Caxias do Sul: Educs. 2009.

SEMA-RS. **Secretaria de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul**. Unidades de conservação do RS. Disponível em: <www.sema.rs.gov.br/unidades-de-conservacao-2016-10>. Acesso em: 21 mai. 2016.

SILVA, S. M. **Diagnóstico das restingas no Brasil: Avaliação e ações prioritárias para a conservação da zona costeira e marinha**, 1999.

SILVEIRA, P. et al. **O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais**. Floresta, v. 38, n. 1, 2008.

SMA-SP. **Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo**. Instituto de Botânica. Disponível em: <www.botanica.sp.gov.br>. Acesso em: 21 mai.2016.

SUGUIO, K. **Introdução a Sedimentologia**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda/EDUSP. 317p. 1973.

UFRGS. **Flora digital do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/>>. Acesso em: 27 set. 2015.

TAGLIANI, P. R. A. **Estratégia de planificação ambiental para o sistema ecológico da Restinga da Lagoa dos Patos - Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: UFSCar. 1995.

TAGLIANI, P. R. A. **Ecologia da paisagem da Restinga da Lagoa dos Patos: uma contribuição para o manejo e conservação da reserva da biosfera**. Editora da FURG, Rio Grande. 184p. 2011.

TOWNSEND, C. R. et al. **Fundamentos em ecologia**. Porto Alegre: Artmed Editora. 2 ed. 2009.

TROLL, C. **Landscape ecology (geoecology) and biogeocenology — A terminological study**. Geoforum, v.2, n.4, p.43-46, 1971.

US-EPA. **Method 3015 A**. 2007. Disponível em: <[http:// www.epa.gov/SW-846/3051a.pdf](http://www.epa.gov/SW-846/3051a.pdf)>. Acesso em: 29 set. 2017

US-EPA. **Method 3050 B**. 1996a. Disponível em: <[http:// www.epa.gov/SW-846/pdfs/3050b.pdf](http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3050b.pdf)>. Acesso em: 29 set. 2017.

US-EPA. **Method 3052 A**. 1996b. Disponível em: <<https://www.epa.gov/production/files/2015-12/documents/3052.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2017

YU, H. et al. **The spatial relationship between human activities and C, N, P, S in soil based on landscape geochemical interpretation**. Environmental geochemistry and health, v. 38, n. 2, p. 381-398, 2015.

ZENEBON, O; PASCUET, N. S; TIGLEA, P. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. 4 ed. 2008.

ANEXO A – Concentrações dos elementos químicos nos solos e sedimentos

Concentrações dos elementos químicos no solo da paisagem autônoma (mg kg⁻¹).

	0 - 3 cm	6 - 9 cm	12 -15 cm	18 - 21 cm	24 - 27 cm	30 - 33 cm	36 - 39 cm	42 - 45 cm	48 - 51 cm	54 -57 cm
Li	12,89	14,44	17,54	19,38	17,13	17,98	14,91	13,46	12,65	13,02
Be	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04
B	0,48	0,58	0,56	0,56	0,45	0,49	0,37	0,32	0,39	0,61
Na	40,29	31,62	34,31	38,63	29,55	35,80	26,14	25,11	41,16	58,31
Mg	403,62	365,84	395,27	390,3	334,24	399,32	356,92	336,11	320,24	341,09
P	31,72	28,42	1,32	21,91	8,57	n.d.	1,47	1,11	1,14	1,2
S	7,28	6,39	2,7	5,93	5,59	2,89	6,94	5,22	1,12	3,87
Ca	65,27	42,52	69,2	58,24	63,44	82,96	68,15	48,55	57,98	109,8
Sc	0,04	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06
Ti	155,58	138,31	221,79	183,84	150,51	224,19	195,74	227,43	245,03	184,54
V	5,37	6,31	10,88	9,71	9,49	10,60	9,34	9,01	9,03	7,37
Cr	5,75	5,76	6,34	5,74	5,24	5,62	5,18	5,08	5,35	10,11
Mn	444,74	300,94	131,61	304,64	202,98	142,59	101,79	105,94	110,70	155,19
Fe	12021,62	11987,63	16355,93	15314,72	13220,86	15534,66	14715,86	15214,94	15495,34	15589,69
Co	0,41	0,4	0,37	0,42	0,34	0,38	0,33	0,33	0,35	0,42
Ni	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Cu	1,59	2,11	843,96	1,15	0,65	0,78	0,5	0,67	0,73	0,8
Zn	0,84	0,92	0,42	1,09	0,95	0,77	0,59	0,48	0,16	1,11
As	0,61	0,84	0,96	1,06	1,01	1,04	0,96	0,88	1,05	0,45
Se	0,05	0,06	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08
Br	0,54	0,1	0,78	0,1	0,30	0,57	0,65	0,42	0,3	0,07
Rb	10,13	3,03	11,65	11,05	10,36	11,61	10,41	1,73	1,71	9,93
Sr	5,5	0,7	4,71	5,38	4,55	5,21	4,08	0,67	0,74	10,58

n.d.: não determinado

Concentrações dos elementos químicos no solo da paisagem autônoma (mg.Kg⁻¹) (continuação).

	0 - 3 cm	6 - 9 cm	12 -15 cm	18 - 21 cm	24 - 27 cm	30 - 33 cm	36 - 39 cm	42 - 45 cm	48 - 51 cm	54 -57 cm
Y	0,4	0,44	0,26	0,37	0,27	0,28	0,25	0,25	0,3	3,22
Zr	0,01	0,01	0,29	0,07	0,08	0,28	0,29	0,52	0,74	1,16
Mo	0,06	0,06	0,07	0,3	0,07	0,07	0,07	0,21	0,07	0,06
Ag	0,05	0,06	0,11	0,03	0,12	0,05	0,11	0,03	0,04	0,14
Cd	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	n.d.	0,00
Sn	0,24	0,31	0,28	0,4	0,3	0,12	0,37	0,4	0,43	0,37
Sb	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03
Cs	0,5	0,51	0,61	0,65	0,59	0,62	0,53	0,46	0,45	0,42
Ba	6,39	6,8	5,81	8,14	5,65	6,09	5,09	4,62	4,49	7,41
La	13,92	13,34	13,27	13,95	12,38	13,33	12,05	12,59	13,77	19,57
Ce	26,97	25,7	26,21	26,99	4,36	4,53	23,42	24,45	27,29	38,72
Pr	0,54	0,53	0,52	0,54	0,48	0,52	0,47	0,49	0,57	0,8
Nd	1,98	2	1,86	1,99	1,75	1,85	1,69	1,81	1,99	2,88
Sm	0,37	0,36	0,32	0,36	0,31	0,42	0,29	0,32	0,34	0,5
Eu	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,1
Gd	0,41	0,41	0,35	0,39	0,33	0,33	0,31	0,33	0,36	0,5
Tb	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,07
Dy	0,29	0,29	0,22	0,27	0,21	0,22	0,2	0,21	0,23	0,36
Ho	0,05	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06
Er	0,12	0,12	0,08	0,1	0,07	0,08	0,07	0,07	0,08	0,14
Tm	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Yb	0,09	0,09	0,06	0,08	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,12
Lu	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02

n.d.: não determinado

Concentrações dos elementos químicos no solo da paisagem autônoma (mg.Kg⁻¹) (cont.).

	0 - 3 cm	6 - 9 cm	12 -15 cm	18 - 21 cm	24 - 27 cm	30 - 33 cm	36 - 39 cm	42 - 45 cm	48 - 51 cm	54 -57 cm
W	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Pb	1,01	1,14	1,02	1,06	0,83	0,84	0,7	0,68	0,7	0,78
Th	0,21	0,16	0,51	0,36	0,27	0,4	0,42	0,48	0,52	0,74
U	0,19	0,33	0,12	0,11	0,12	0,12	0,1	0,1	0,1	0,13

Concentração dos elementos químicos no solo da paisagem superaquática (mg.Kg⁻¹).

Elemento	0 - 3 cm	6 - 9 cm	12 -15 cm	18 - 21 cm	24 - 27 cm	30 - 34 cm
Li	24.93	9.73	16.40	11.91	1.02	5.92
Be	0.08	0.03	0.05	0.04	0.02	0.02
B	5.86	1.75	2.03	1.35	0.51	0.54
Na	n.d.	187.49	181.10	131.72	59.73	65.59
Mg	2035.33	490.60	771.31	568.86	291.60	302.85
P	102.61	8.27	7.42	3.76	n.d.	n.d.
S	547.63	51.25	79.43	169.81	1.14	5.81
Ca	6907.94	662.27	1535.31	614.58	53.41	43.60
Sc	0.07	0.03	0.06	0.05	0.02	0.03
Ti	129.29	92.72	160.65	134.09	96.35	164.44
V	6.03	2.70	5.19	4.25	1.33	1.89
Cr	6.65	3.58	4.68	4.20	3.05	3.73
Mn	n.d.	83.96	86.83	77.51	47.30	78.76
Fe	47675.22	9075.05	10871.61	8061.62	4970.55	6333.86
Co	11.47	0.29	0.33	0.26	0.19	0.27
Ni	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Cu	1.91	0.17	0.38	0.36	0.16	0.22
Zn	2.26	0.24	0.26	0.02	0.03	0.50
As	0.95	0.75	0.79	0.85	0.68	0.77
Se	0.22	0.07	0.10	0.08	0.04	0.05
B	16.65	1.69	1.23	1.03	0.38	0.67
Rb	9.56	0.51	2.71	0.71	0.52	0.61
Sr	75.36	14.52	20.59	14.16	5.16	4.87

n.d.: não determinado

Concentração dos elementos químicos no solo da paisagem superaquática (mg.Kg⁻¹) (cont.).

Elemento	0 - 3 cm	6 - 9 cm	12 -15 cm	18 - 21 cm	24 - 27 cm	30 - 34 cm
Y	5.84	0.52	4.32	3.45	0.43	0.46
Zr	0.38	0.43	0.79	0.79	0.32	0.46
Mo	0.12	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01
Ag	0.004	0.07	0.13	0.02	0.28	0.04
Cd	0.02	0.001	0.01	0.00	0.00	0.00
Sn	0.38	0.36	0.14	0.16	0.01	0.53
Sb	0.04	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00
Cs	0.51	0.19	0.35	0.29	0.16	0.15
Ba	214.37	48.57	1452.68	7.51	13.02	11.78
La	17.58	9.84	15.71	10.97	9.14	10.01
Ce	34.49	18.04	29.76	3.97	3.14	3.36
Pr	0.83	0.46	0.73	0.52	0.45	0.50
Nd	3.25	1.78	2.63	1.98	1.76	1.90
Sm	0.61	0.34	0.48	0.39	0.35	0.38
Eu	0.14	0.10	0.15	0.11	0.10	0.10
Gd	0.56	0.37	0.47	0.44	0.38	0.41
Tb	0.08	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06
Dy	0.47	0.30	0.39	0.35	0.29	0.32
Ho	0.08	0.05	0.07	0.06	0.05	0.05
Er	0.21	0.13	0.17	0.15	0.12	0.13
Tm	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Yb	0.18	0.11	0.15	0.12	0.10	0.10
Lu	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01

Concentração dos elementos químicos no solo da paisagem superaquática (mg.Kg⁻¹) (cont.).

Elemento	0 - 3 cm	6 - 9 cm	12 -15 cm	18 - 21 cm	24 - 27 cm	30 - 34 cm
W	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Pb	1.95	0.60	60.88	0.55	0.33	0.47
Th	0.15	0.14	0.32	0.22	0.06	0.22
U	0.25	0.10	0.13	0.11	0.04	0.04

Concentrações dos elementos nos sedimentos da paisagem acumulativa (mg.Kg⁻¹)

	Li	Mg	Mn	Ni	Cu	Zn	Ce	Tb	Pb	U	Co	Ba
1 cm	4,1	1525,8	135,2	0,4	0,5	0,5	15,1	0,07	1	0,05	0,4	23,1
3 cm	4,3	1739,9	122,5	0,4	0,4	0,4	16,6	0,08	0,6	0,04	0,4	18,9
6 cm	4,1	1876,7	124,7	0,4	0,4	0,2	18,3	0,08	0,6	0,04	0,4	15,7
8 cm	4	1945,6	91,7	0,4	0,3	0,3	19,6	0,09	0,5	0,04	0,4	15,2
10 cm	3,8	1833,6	76,2	0,4	0,3	0,2	18,8	0,09	0,5	0,04	0,3	17

ANEXO B – Valores de clarc de concentração e clarc de dispersão

Clarcs de concentração e clarcs de dispersão dos elementos químicos na paisagem autônoma.

Clarc	0 - 3 cm		6 - 9 cm		12 - 15 cm		18 - 21 cm		24 - 27 cm		30 - 33 cm		36 - 39 cm		42 - 45 cm		48 - 51 cm		57 - 60 cm			
	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD		
Li 15		1.2		1	1.2		1.3		1.1		1.2		1		1.1		1.2		1.2		1.2	
Be 0.1		2.9		2.4		2.4		2		2.6		2.5		3		3,2		2.9		2.5		
B 35		72.3		60		62.3		62.2		77		71.6		94.2		110		90.2		57.8		
Na 9200		228.3		291		268.2		238.1		311.3		257		351.9		366.3		223.5		157.8		
Mg 7300		18.1		20		18.5		18.7		21.8		18.3		20.5		21.7		22.8		21.4		
P 400		12.6		14.1		302.4		18.3		46.7		n.d.		271.8		359.3		351.4		334.6		
S 200		27.5		31.3		74.1		33.7		35.8		69.3		28.8		38.3		178.5		51.7		
Ca 26800		410.6		630.3		387.3		460.1		422.4		323		393.3		552		462.3		244.1		
Sc 1		28.5		29.3		21.7		23.3		27.2		22.6		22.6		23.7		23.1		16.1		
Ti 3000		19.3		21.7		13.5		16.3		19.9		13.4		15.3		13.2		12.2		16.3		
V 20		3.7		3.2		1.8		2.1		2.1		1.9		2.1		2.2		2.2		2.7		
Cr 35		6.1		6.1		5.5		6.1		6.7		6.2		6.8		6.9		6.5		3.5		
Mn 400	1.1			1.3		3		1.3		2		2.8		3.9		3.8		3.6		2.6		
Fe 28000		2.3		2.3		1.7		1.8		2.1		1.8		1.9		1.8		1.8		1.8		
Co 0.3	1.4		1.3		1.2		1.4		1.1		1.3		1.1		1.1		1.2		1.4		1.4	
Ni 2		112.9		112.5		112.7		112.5		112.7		112.6		112.8		112.5		112.5		112.5		112.5
Cu 1	1.6		2.1		844		1.2			1.5		1.3		2		1.5		1.4		1.3		
Zn 16		19.1		17.3		37.8		14.6		16.9		20.9		27		33.4		102.6		14.5		
As 1		1.6		1.2		1.04		1.1		1.01		1.04		1		1.1		1		2.2		
Se 0.05	1.1		1.2		1.7		1.4		1.4		1.6		1.6		1.4		1.6		1.6		1.6	
Br 1		1.8		10.1		1.3		9.6		3.3		1.8		1.5		2.4		3.3		13.9		
Sr 20		3.6		28.6		4.2		3.7		4.4		3.8		4.9		29.7		26.9		1.9		

n.d.: não determinado

Clarcs de concentração e clarcs de dispersão dos elementos químicos na paisagem autônoma (cont.).

Clarc	0 - 3 cm		6 - 9 cm		12 - 15 cm		18 - 21 cm		24 - 27 cm		30 - 33 cm		36 - 39 cm		42 - 45 cm		48 - 51 cm		57 - 60 cm	
	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD
Y 40		99.1		91.4		1521		107.9		149.4		141.6		161.3		157.7		132.9		12.4
Zr 220		15090		16713		771		2719		2752		783.9		754.9		422.7		296.8		189.6
Mo 0.2		3.1		3.4		2.7		1.5		2.9		2.7		2.8		1.1		2.9		3.6
Ag 0.01		5		6		10.8		3.1		12		4.6		10.7		2.8		4.4		14
Cd 0.01		1		1.1		16.7		1.1		2.4		20		6.3		14.3		n.d.		2.9
Sn 0.1		2.4		3.1		2.8		4		3.1		1.2		3.7		4		4.3		3.7
Sb 0.01		2.7		2.8		2.4		3.5		3		2.3		2.4		3.3		4.4		3.1
Cs 0.01		49.6		51.1		60.9		65		59.5		61.6		53.2		46.3		44.9		41.6
Ba 10		1.6		1.5		1.7		1.2		1.8		1.6		2		2.2		2.2		1.3
La 30		2.2		2.2		2.3		2.2		2.4		2.3		2.5		2.4		2.2		1.5
Ce 92		3.4		3.6		3.5		3.4		21.1		20.3		3.9		3.8		3.4		2.4
Pr 8.8		16.4		16.5		16.8		16.2		18.3		17		18.6		17.9		15.5		11
Nd 37		18.7		18.5		19.9		18.6		21.2		20.1		21.9		20.4		18.6		12.9
Sm 10		27.2		27.5		31.3		27.9		32.2		24		34.3		31.7		29		20
Eu 1.6		19.7		19		22.5		19		23.6		22.7		24.5		23.9		21.5		16.8
Gd 10		24.6		24.6		28.6		25.9		30.3		29.9		32		30.7		27.7		19.8
Tb 1.6		28.1		27.8		32.5		29.5		34.7		34.1		37.2		35.5		31.6		22.3
Dy 7.2		25.2		25		32.1		26.9		33.6		32.7		35.5		34.3		31.2		20.3
Ho 2		43.1		42.4		59.9		47.6		62		61		66.8		64.4		58.5		34.8
Er 4		34.8		34.3		52.1		40.1		54.1		52.9		58.1		56.3		50.8		27.7
Tm 0.3		20.2		19.6		30.5		23.2		32.4		30.8		35		33.5		29.7		15.4
Yb 4		44.9		43.6		70.6		51.2		73.7		70.2		77		76.5		66.8		33.3
Lu 1.2		964.7		911.6		1572		110.7		159.5		152.2		169.7		165.7		147.4		71.3

n.d.: não determinado

Clarcs de concentração e clarcs de dispersão dos elementos químicos na paisagem superaquática.

Clarc	0 - 3 cm		6 - 9 cm		12 - 15 cm		18 - 21 cm		24 - 27 cm		30 - 34 cm	
	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD
Li 15	1.7			1.5	1.1			1.3		14.7		2.5
Be 0.1		1.2		3.3		1.9		2.8		6.1		5.5
B 35		6		20		17.3		26		68.7		65.3
Na 9200		n.d.		49.1		50.8		69.8		154		140.3
Mg 7300		3.6		14.9		9.5		12.8		25		24.1
P 400		3.9		48.4		53.9		106.3		n.d.		n.d.
S 200	2.7			3.9		2.5		1.2		176.1		34.4
Ca 26800		3.9		40.5		17.5		43.6		501.7		614.6
Sc 1		14.4		30.2		16.7		22.1		50.2		37.7
Ti 3000		23.2		32.4		18.7		22.4		31.1		18.2
V 20		3.3		7.4		3.9		4.7		15		10.6
Cr 35		5.3		9.8		7.5		8.3		11.5		9.4
Mn 400		n.d.		4.8		4.6		5.2		8.5		5.1
Fe 28000	1.7			3.1		2.6		3.5		5.6		4.4
Co 0.3	38.2			1	1.1			1.2		1.6		1.1
Ni 2		112.6		112.8		112.4		112.6		112.4		112.4
Cu 1	1.9			6		2.6		2.8		6.4		4.5
Zn 16		7.1		67.4		62.5		732.2		539.1		31.8
As 1		1		1.3		1.3		1.2		1.5		1.3
Se 0.05	4.4		1.3		2.1		1.6		1.2	1.1		
B 1	16.7		1.7		1.2		1		2.6			1.5
Rb 60		6.3		117.1		22.2		85		115.5		99.1
Sr 20	3.8			1.4	1			1.4		3.9		4.1

n.d.: não determinado

Clarcos de concentração e clarcos de dispersão dos elementos químicos na paisagem superaquática (cont.).

Clarc		0 - 3 cm		6 - 9 cm		12 - 15 cm		18 - 21 cm		24 - 27 cm		30 - 34 cm	
		KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD
Y	40		6,9		76.7		9.3		11.6		92.2		87.5
Zr	220		571,7		509.2		279.5		277.8		679.4		479.4
Mo	0,2		1,7		4.4		8.4		17.4		19.8		33.1
Ag	0,01		2,4	7.3		12.8		1.8		28.4		3.6	
Cd	0,01	2,4			9.1		1.3		4.9		3.6		14.3
Cs	0,1	51,4		19.4		34.9		28.7		15.8		15.2	
Ba	0,01	21,4		4.9		145.3			1.3	1.3		1.2	
La	0,01		1,7		3		1.9		2.7		3.3		3
Ce	10		2,7		5.1		3.1		23.2		29.3		27.4
Pr	30		10,6		19.2		12		17		19.5		17.5
Nd	92		11,4		20.8		14.1		18.7		21.1		19.4
Sm	8,8		16,4		29.7		20.7		25.8		28.4		26.4
Eu	37		11,1		16.7		11		14.2		16.4		15.4
Gd	10		17,7		26.8		21.3		22.9		26.4		24.3
Tb	1,6		19,1		28.8		23.3		24.2		28.5		26.2
Dy	10		15,4		23.9		18.3		20.6		24.6		22.3
Ho	1,6		24,5		38.8		30		33.3		40.6		38
Er	7,2		19		31.2		23.3		26.8		32.5		30.7
Tm	2		10,3		17.2		12.6		14.8		18.5		17.4
Yb	4		22,7		37.1		27.4		32.1		41.7		39.2
Lu	0,3		47,7		80.3		53.7		68.3		91.7		85.2

Clarcs de concentração e clarcs de dispersão dos elementos químicos na paisagem supraaquática (cont.)

Clarc	0 - 3 cm		6 - 9 cm		12 - 15 cm		18 - 21 cm		24 - 27 cm		30 - 34 cm	
	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD	KK	KD
W	1,6	68,7	145,4	213,3	234,1	266,9	230,3					
Pb	7	3,6	11,7	8,7	12,8	21	14,9					
Th	1,7	11,1	12,2	5,3	7,9	27,7	7,6					
U	0,45	1,8	4,5	3,4	4,2	10,3	10,1					

Clarcs de dispersão e acumulação da paisagem acumulativa.

	Li	Mg	Mn	Ni	Cu	Zn	Ce	Tb	Pb	U	Co	Ba
	KD										KK	
1 cm	3,7	4,8	3	4,8	2,1	34,6	6,1	23,3	7	9,3	1,3	4,6
3 cm	3,5	4,2	3,3	4,8	2,6	44,6	5,5	20,5	11,9	10,9	1,2	3,8
6 cm	3,7	3,9	3,2	4,9	2,6	65,4	5	19,1	12,4	11,3	1,3	3,1
8 cm	3,7	3,8	4,4	4,7	3	56,7	4,7	17,9	14,4	10,8	1,2	3
10 cm	3,9	4	5,2	4,7	3,2	87	4,9	18,1	15,3	12,5	1,1	3,4
Clarc (mg.Kg ⁻¹)	15	7300	400	2	1	16	92	1.6	7	0,45	0,3	5