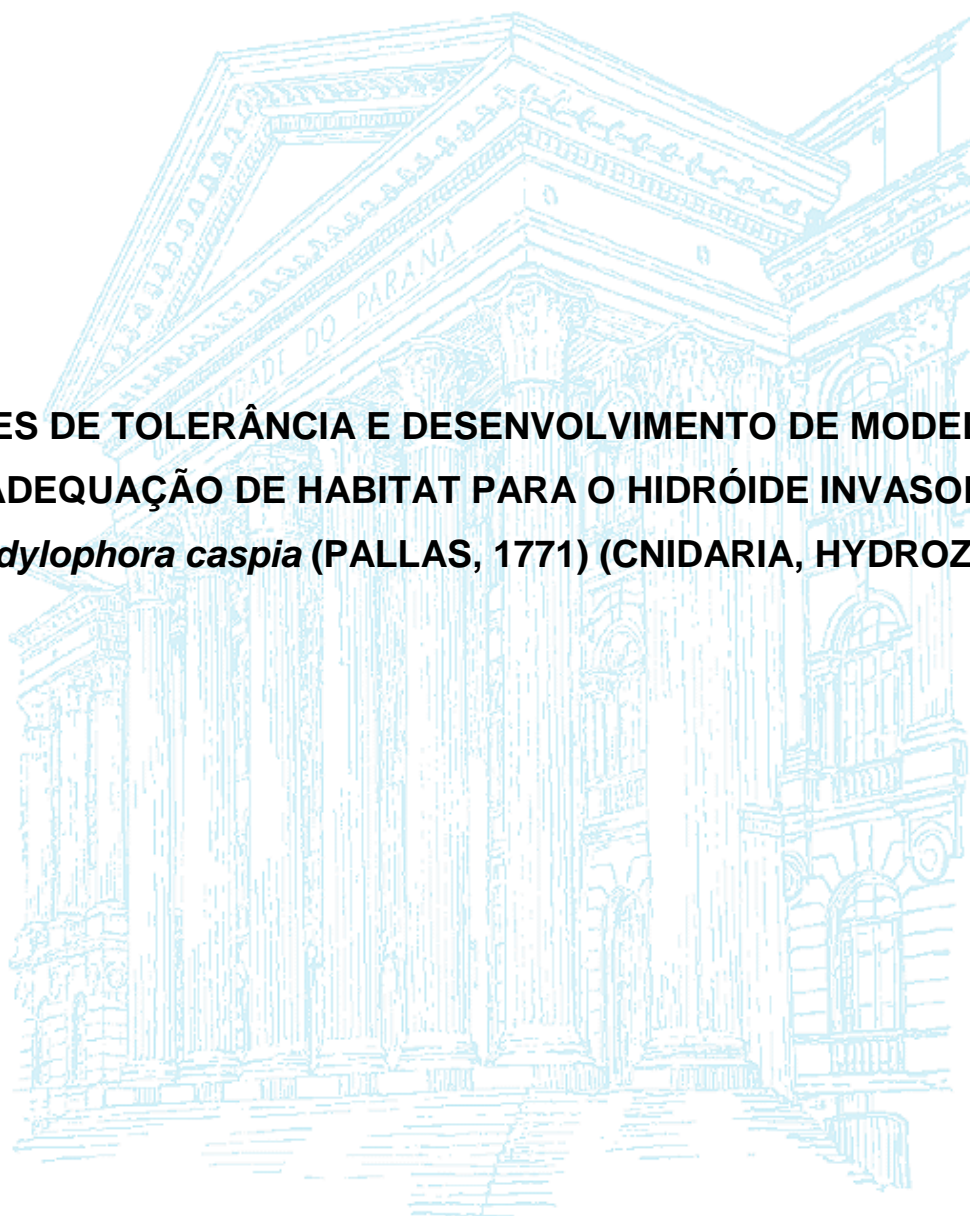


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**SILVIA MARIA MILLAN GUTIERRE**

**TESTES DE TOLERÂNCIA E DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE  
ADEQUAÇÃO DE HABITAT PARA O HIDRÓIDE INVASOR  
*Cordylophora caspia* (PALLAS, 1771) (CNIDARIA, HYDROZOA)**



**CURITIBA**

**2008**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**SILVIA MARIA MILLAN GUTIERRE**

**TESTES DE TOLERÂNCIA E DESENVOLVIMENTO DE MODELO DE  
ADEQUAÇÃO DE HABITAT PARA O HIDRÓIDE INVASOR  
*Cordylophora caspia* (PALLAS, 1771) (CNIDARIA, HYDROZOA)**

Monografia apresentada à disciplina de Estágio em Zoologia (BZ027), como requisito parcial à conclusão do Curso de Ciências Biológicas, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Maria Angélica Haddad  
Co-Orientador: Dr. Ariel Scheffer da Silva.

**CURITIBA**

**2008**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora Professora Maria Angélica, por me aceitar desde o começo, por me transmitir tantos conhecimentos e por ter aberto muitas portas na minha vida acadêmica;

Ao meu co-orientador e chefe Ariel por todas as oportunidades, todos os ensinamentos e a paciência;

Aos colegas e amigos do LACTEC pelos dois anos de parceria;

A Helena pela força e por ter me salvado com o ARCGIS;

A minha família, que é a base de tudo.

Aos meus amigos, pela força, companheirismo, compreensão e alegria. Sem eles nada disso faria sentido;

A você.

## RESUMO

*Cordylophora caspia* é um hidrozoário invasor que se estabeleceu na Bacia do Rio Iguaçu, onde causa vários danos tanto ecológicos quanto econômicos. Visando melhorar o conhecimento da espécie e o desenvolvimento de métodos que auxiliem no controle e erradicação desse organismo, foram realizados testes *ex situ* para identificar os limites de tolerância ambiental de *C. caspia*, além de analisar resultados de estudos de outros autores. Os parâmetros utilizados nos testes foram temperatura, pH e salinidade. A espécie apresentou mortalidade em temperaturas de 10°C e 35°C; nos pHs 4.0 e 10; na salinidade 20 ups. A faixa ótima de temperatura, onde o organismo apresentava atividade alimentar e comportamento normal, ficou entre 16°C e 27°C, o pH entre 5.5 e 8.0 e a salinidade entre 0 e 15 ups. Para o fator oxigênio dissolvido, foram utilizados dados pretéritos de estudos desenvolvidos em outros países. Estes estudos indicam a faixa ideal de oxigênio dissolvido entre 5,0 mg/L a 9,0 mg/L, ocorrendo mortalidade em águas supersaturadas acima de 108%, ou aproximadamente 20 mg/L. A partir desses parâmetros foram gerados Índices de Adequação de Habitat (Habitat Suitability Index – HSI), nos quais se definem, no intervalo de 0 (habitat não adequado) a 1.0 (habitat ótimo), os índices da qualidade ambiental para a sobrevivência e o desenvolvimento da espécie em questão. O modelo HSI foi aplicado espacialmente em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) o qual gerou mapas temáticos onde foi possível determinar os locais mais susceptíveis à invasão do hidrozoário no Reservatório de Salto Caxias, no Rio Iguaçu. Os testes de tolerância demonstraram a plasticidade ambiental da espécie, sendo altamente adaptável a grandes variações ambientais, o que é coerente com as características de espécies de invertebrados invasores. O HSI apresentou-se como ferramenta de modelagem simples que gera bons resultados na presença de informações dos limites do organismo estudado. A utilização do SIG foi uma ferramenta altamente eficaz para modelagem geográfica e para análise de risco de bioinvasões, porém é dependente de um banco de dados ambientais amplo, o que geralmente não representa a realidade. Na área do reservatório de Salto Caxias, toda sua extensão apresentou valores HSI ótimos ou sub-ótimos, ou seja, pode ser considerado um local passível de invasão, como pode ser comprovado em campo, embora a precisão dos resultados esteja limitada pela falta de cobertura espacial das informações ambientais.

**Palavras-chave:** Testes de Tolerância. Habitat Suitability Index. Sistema de Informações Geográficas.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 –	LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM NA USINA HIDROELÉTRICA SALTO CAXIAS, RIO IGUAÇU. ....	23
FIGURA 2 –	FIGURA ESQUEMÁTICA DA DISPOSIÇÃO DOS BÉQUERES NOS AQUÁRIOS DE TESTES.....	25
FIGURA 3 -	GRÁFICO DO ÍNDICE DE ADEQUABILIDADE DO HABITAT (HSI). .....	29
FIGURA 4 –	TESTE DE TOLERÂNCIA PARA TEMPERATURA. ....	31
FIGURA 5 –	TESTE TOLERÂNCIA PARA pH.....	32
FIGURA 6 –	TESTE DE TOLERÂNCIA PARA SALINIDADE. ....	33
FIGURA 7 –	FOTO DO INDIVÍDUO NORMAL E ATIVO (1), REGRESSÃO DOS PÓLIPOS (2,3) E MORTE DA COLÔNIA (4).....	33
FIGURA 8 –	ESPACIALIZAÇÃO DA VARIÁVEL TEMPERATURA AO LONGO DO RESERVATÓRIO DE SALTO CAXIAS, UTILIZANDO O MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO IDW.....	35
FIGURA 9 –	ESPACIALIZAÇÃO DA VARIÁVEL PH AO LONGO DO RESERVATÓRIO DE SALTO CAXIAS, UTILIZANDO O MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO IDW.....	35
FIGURA 10 –	ESPACIALIZAÇÃO DA VARIÁVEL OXIGÊNIO AO LONGO DO RESERVATÓRIO DE SALTO CAXIAS, UTILIZANDO O MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO IDW.....	36
FIGURA 11 –	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO HSI PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA SEGUNDO PADRÕES DOS DADOS DOS TESTES DE TOLERÂNCIA, APLICADO AO GRÁFICO HSI – TEMPRATURA.....	37
FIGURA 12 –	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO HSI PARA A VARIÁVEL pH SEGUNDO PADRÕES DOS DADOS DOS TESTES DE TOLERÂNCIA, APLICADO AO GRÁFICO HSI – pH.....	38
FIGURA 13 –	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO HSI PARA A VARIÁVEL OXIGÊNIO SEGUNDO PADRÕES DOS DADOS DOS TESTES DE TOLERÂNCIA, APLICADO AO GRÁFICO HSI–OXIGÊNIO.....	39
FIGURA 14 –	ÀREAS DE RISCO DE ESTABELECIMENTO DE <i>C. CASPIA</i> , SEGUNDO OS PADRÕES DOS TESTES DE TOLERANCIA, AO LONGO DO RESERVATÓRIO DE SALTO CAXIAS.....	40

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 –	LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DAS ÁGUAS NA USINA HIDROELÉTRICA SALTO CAXIAS. ....	22
TABELA 2 –	PARÂMETROS CONSIDERADOS PARA CONSTRUÇÃO DOS HISTOGRAMAS DOS ÍNDICES DE ADEQUAÇÃO DO HABITAT, SEGUNDO OS TESTE DE TOLERÂNCIA DESENVOLVIDOS EM LABORATÓRIO E LITERATURA.....	28

## LISTA DE SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica;  
COPEL – Companhia Paranaense de Energia;  
DN – Digital Number ou valor numérico do pixel;  
HSI – Habitat Suitability Index ou Índice de Adequação de Habitat;  
IDW – Inverse Distance Weighted ou Distância Inversa Ponderada;  
LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento;  
NHEERL – National Health and Environmental Effects Laboratory;  
NTUs – Nephelometric Turbidity Units ou Unidade Nefelométrica de Turbidez;  
PPMil – Partes por Mil;  
SAD 69 – South America Datum, 1969;  
SIG – Sistema de Informações Geográficas;  
UFPR – Universidade Federal do Paraná;  
UPS – Unidade Padrão de Salinidade;  
USFWS – United States Fish and Wildlife Services;  
UTM – Universal Transversa de Mercator.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>VI</b>
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1 HIDROZÓARIO.....	11
1.2 BIOINVASÕES.....	13
1.3 CULTIVO EM LABORATÓRIO E TESTES DE TOLERÂNCIA.....	15
1.4 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....	16
1.5 MODELAGEM HSI.....	17
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>20</b>
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
3.1 DADOS AMBIENTAIS DO RESERVATÓRIO PARA TESTE DO MODELO GEOPROCESSADO.....	22
3.2 LIMITES DE TOLERÂNCIA DA ESPÉCIE.....	23
3.3 DESENVOLVIMENTO DA MODELAGEM AMBIENTAL.....	25
3.4 HABITAT SUITABILITY INDEX (HSI).....	25
3.5 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG).....	26
3.5.1 Espacialização dos Dados das Variáveis.....	27
3.6 APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE ADEQUAÇÃO DE HABITAT (HSI).....	27
3.7 METODOLOGIA HSI APLICADA A RECURSOS DO SIG.....	28
3.8 TRATAMENTO DOS ARQUIVOS 'RASTER'.....	30
3.9 CÁLCULO FINAL DO HSI.....	30
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>31</b>
4.1 TESTES DE TOLERÂNCIA.....	31
4.2 INTERPOLAÇÃO DOS DADOS DAS VARIÁVEIS.....	34
4.3 MODELO DE ADEQUAÇÃO DE HABITAT.....	36
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>45</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>49</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Atribui-se hoje às bioinvasões o status de segunda maior causa de declínio da biodiversidade, ficando atrás apenas da destruição de habitats naturais (BASKIN, 2002; VITOUSEK *et.al.*, 1997). Porém, os organismos invasores são problemáticos não somente para os ecossistemas, mas também para as atividades humanas e em sistemas industriais e produtivos.

Erradicação e controle de espécies exóticas são geralmente possíveis se a introdução dessas espécies for detectada precocemente. Atividades de monitoramento para conhecimento das espécies invasoras podem ser usadas para facilitar a detecção prematura e erradicação, mas precisam ser objetivadas eficientemente, então esse simples esforço é direcionado para locais e habitats onde essas espécies têm grande risco de incursão (INGLIS, 2004).

Em fevereiro de 2004, foram observadas na usina de Salto Caxias, na bacia do Rio Iguaçu, Paraná, grandes concentrações de um invertebrado filamentosso, colonial, identificado como sendo o hidrozoário *Cordylophora caspia*. Este organismo, além de incrustar diversos tipos de substratos artificiais e naturais, alterando o ambiente natural e competindo com espécies locais, causa problemas de degradação de materiais, comprometimento de sistema de resfriamento e gera o aumento dos esforços de manutenção em usinas hidroelétricas, por exemplo.

A espécie possivelmente se espalhou por vários países através de água de lastro de navios e por introduções passivas, não intencionais, com espécies aquáticas cultivadas. Embora seja um organismo de água salobra, adapta-se e se desenvolve bem em ambientes dulcícolas, onde não existem predadores e competidores naturais, capazes de controlar suas populações.

Muitos estudos com o invertebrado bioinvasor, *Dreissena polymorpha* (Mexilhão Zebra), focam a identificação de áreas potenciais para estabelecimento e crescimento da espécie através da compreensão de sua fisiologia e ciclo de vida, e também estimar seu potencial adaptativo a condições ambientais com grande variação (CHAKRABORTI *et.al.*, 2002). Estudos similares que focam fisiologia e ciclo de vida para *C. caspia* com a finalidade de determinar locais de sua possível invasão, são praticamente inexistentes.

A falta de conhecimento sobre a biologia de *C. caspia*, em especial sobre suas tolerâncias a variáveis ambientais, acaba dificultando o controle da colonização desse organismo em ambientes naturais invadidos por ela, e nos sistemas hidráulicos impactados por sua incrustação. O desenvolvimento de modelos que auxiliem na prevenção, análise de risco, manejo e erradicação dessas espécies tornam-se essenciais. Um exemplo desses modelos é o Índice de Adequação de Habitat ou HSI, que tem sido empregado desde a década de 90 para a previsão de ocupação de habitats por espécies invasoras.

O Modelo HSI foi desenvolvido inicialmente pela USFWS (1980) para a conservação, a gestão de recursos naturais e previsão de impactos ambientais. Tem sido aplicado para monitoramento de ambientes naturais aquáticos com ênfase em espécies comerciais e recreativas de peixes como salmão e truta (USFWS 1981 apud SILVA 1996), e mais recentemente com aplicação para bivalves como ostras e espécies de aquicultura (SILVA 1996). Também é empregado rotineiramente em vários países para classificar a adequação de habitats para o desenvolvimento de populações de espécies de interesse ecológico e econômico (SILVA, 1996).

O processo de modelagem HSI é uma forma prática de transformar conhecimentos científicos em índices numéricos, que já são usados por gerenciamentos costeiros e para zoneamento da aquicultura. Quatro passos importantes são usados para o desenvolvimento do modelo: 1) pesquisa bibliográfica e construção de gráficos de Índice de Adequabilidade de variáveis relacionadas à sobrevivência do organismo; 2) construção de uma base de dados ambientais para as variáveis selecionadas da área de estudo; 3) cálculo em SIG (Sistema de Informações Geográficas) do HSI da espécie seguindo os procedimentos do modelo; 4) comparação da análise SIG-HSI com os dados de ocorrência do organismo na área de estudo (dados não publicados) <sup>1</sup>.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) tornou-se uma importante tecnologia que permite a integração de dados numéricos e espaciais. Utilizando o SIG é possível gerar mapas, modelos, fazer buscas e analisar dados, apresentando-

---

<sup>1</sup> SILVA, A. S. & HARTWICK, E. B. - Site Suitability Index, a comprehensive aquaculture site selection model in a GIS framework for *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) Suspended Oyster Culture.

se assim como ferramenta de apoio para a automação de metodologias e análises ambientais.

O desenvolvimento de uma metodologia que integre o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para relação de dados numéricos e espaciais, e modelos de adequação de habitats (HSI - Habitat Suitability Index), que tem finalidade de indicar áreas propícias para sobrevivência de organismos, é uma forma eficiente para detecção de áreas de riscos para bioinvasões. Porém essa metodologia só é viável caso haja um conhecimento básico dos limites de tolerância da espécie estudada, para parâmetros ambientais considerados essenciais.

O trabalho de cultivo e testes de tolerância serve como base para o desenvolvimento da modelagem ambiental, utilizando os dados obtidos pelos experimentos de laboratório para gerar Índices de Adequação de Habitat (HSI) e criar modelagens de geoprocessamento para avaliar riscos de invasão. Ou seja, este trabalho pretende aplicar o modelo HSI com complementação em SIG para a espécie *C. caspia*, utilizando os conhecimentos bioecológicos levantados na fase de testes de tolerância da pesquisa.

Nesse contexto, informações básicas da tolerância ambiental da *C. caspia* e a modelagem de habitats em SIG, são de grande importância para o gerenciamento do problema de bioinvasões.

## 1.1 HIDROZOÁRIO

*Cordylophora caspia* (Pallas, 1771), também conhecida como *Cordylophora lacustris*, é um hidróide atecado. Trata-se de um hidrozóário sésil com colônias dióicas estolonais, monopoidais ou arborescentes, os tentáculos dos gastrozoóides, cerca de 12 a 16, são filiformes e esparsos por todo o hidrante que é fusiformes. Os gonóforos, geralmente um ou dois por hidrante, possuem esporossaco. A coloração é esbranquiçada. A espécie possui larva plânula que é liberada pelos gonozooóides, não há forma medusóide livre-natante no ciclo de vida. Os pólipos podem alcançar até 10 cm de comprimento (FULTON, 1961, 1962; ARNDT, 1984). Geralmente existe um hidrocaule central, e este apresenta várias ramificações irregulares, em vários ângulos, contendo nas suas extremidades cerca de 40 hidrantes.

**Reino** Animalia

**Filo** Cnidaria

**Classe** Hydrozoa

**Ordem** Hydroida

**Subordem** Anthomedusae

**Família** Clavidae

**Gênero** *Cordylophora*

**Espécie** *Cordylophora caspia* (Pallas 1771)

ARNDT (1989) constatou que as colônias geralmente apresentam regressão no outono, quando a temperatura fica aproximadamente em 10°C e só apresentam crescimento novamente na primavera quando as temperaturas aumentam. No Mar Báltico o crescimento é máximo na primavera, hidrocaules atingem o tamanho máximo no pico da reprodução sexual em Julho, com um declínio dessa reprodução e conseqüentemente do crescimento em Agosto (JORMALAINEN *et. al.*, 1994).

Hidróides são carnívoros passivos, que acabam por capturar as presas trazidas pelas correntes quando estas estão ao alcance de seus tentáculos, os quais possuem nematocistos que imobilizam e matam a presa e levam o alimento à boca do gastrozoóide. A dieta desses animais varia, mas basicamente inclui zooplâncton, microcrutáceos como copépodos e náuplios de artêmias, oligioquetos, e uma variedade de larvas e pequenos adultos de diversos organismos (GILI & HUGHES, 1995).

Geralmente a morfologia da colônia e dos hidrantes está relacionada com a salinidade. Em água doce elas são menores no tamanho; em salinidade baixa produzem hidrantes mais esféricos, com tentáculos menores; enquanto em águas com maior salinidade os hidrantes são alongados e os tentáculos mais compridos e finos (SCHUCHERT, 2004).

*C. caspia* é originário do Mar Cáspio e Mar Negro, sua distribuição é vasta, tendo registros nos Estados Unidos, e muitos rios e estuários na Europa, como no Mar Báltico onde sua presença é bastante citada na literatura (FOLINO, 2000), no

Mar Mediterrâneo (MORRI, 1980 *apud* ZAMPONI, 1991). Também há registros na Ásia, Egito e Nova Zelândia (ZAMPONI, 1991). Na América Latina já houve registros de ocorrências no México (HURLBERT & VILLALOBOS-FIGUEROA, 1982), em Cuba (GAGGERO, 1923 *apud* ZAMPONI, 1991), no Uruguai (CORDERO, 1941) e na Argentina (ZAMPONI, 1991). No Brasil foram relatadas ocorrências nos estados de São Paulo (SILVEIRA & BOSCOLO, 1996), Rio de Janeiro (ROCH, 1924 *apud* ZAMPONI, 1991) e no Paraná (HADDAD & NAKATANI, 1996).

Este hidrozoário é conhecido por ser uma espécie exótica em várias localidades, muitas vezes chegando a ser invasora, isto porque suporta grandes variações de salinidade e temperatura, podendo ser encontrada em águas oligomesohalinas, ambientes estuarinos e lagunares. Tudo isto aliado à própria característica dos hidrozoários polipóides de permanecerem em latência em condições desfavoráveis, e conseguirem se regenerar a partir de simples fragmentos de alguma parte da colônia, como do hidrante ou do hidrocaule. (MOORE, 1952).

Segundo SMITH *et. al.* (2002) a espécie consegue invadir uma gama de ambientes porque acaba ajustando suas necessidades ecológicas e fisiológicas. Inclusive *C. caspia* é capaz de sobreviver longos períodos sem comida, o que foi provado por KINNE (1956) para colônias de água doce, que relatou indivíduos que continuaram vivos mesmo depois de mais de seis meses sem alimentação.

## 1.2 BIOINVASÕES

Invasões biológicas, ou seja, a introdução, estabelecimento e consequências negativas de espécies ocorrendo em uma área fora de seu limite natural historicamente conhecido, têm sido reconhecidas como uma das ameaças mais sérias à biodiversidade e aos ecossistemas mundiais (GLOBALLAST, 2003). No meio aquático a introdução de espécies se dá principalmente pela descarga de água de lastro (BELZ, 2006), como a introdução de *C. caspia* no Estado do Paraná, proveniente de introduções ocorridas provavelmente no estuário do Rio da Prata na Argentina GLOBALLAST, 2003.

As bioinvasões causam vários impactos ambientais como a diminuição da biodiversidade, resultante de processos de hibridização, exclusão competitiva de

espécies nativas, alteração de níveis tróficos, predação de espécies naturais e introdução de substâncias tóxicas ou doenças que afetam os organismos locais (NEVES & ROCHA, 2006). Não há nenhum estudo que aborde as alterações ambientais causadas pela invasão de *C. caspia*, porém é possível presumir que alguns dos itens citados acima podem, potencialmente, ocorrer como consequência dessa introdução, como, por exemplo, tratando-se de um organismo oportunista, ele acaba colonizando rapidamente diversos substratos que poderiam ser essenciais para espécies nativas.

Além do dano às comunidades biológicas, espécies invasoras também causam impactos econômicos em diversas atividades comerciais (BELZ, 2006). As espécies incrustantes de água doce provocam danos às instalações que utilizam água ou entram em contato com os cursos de águas invadidos. O setor de saneamento com estações de tratamento de água e o setor elétrico com as hidroelétricas estão entre os mais afetados pelas bioinvasões. Esses problemas acarretam medidas para minimização ou erradicação dos danos, o que demanda altos custos financeiros das empresas afetadas e conseqüentemente o aumento de preços dos serviços e produtos aos consumidores finais.

No Estado do Paraná, após sua introdução pela Bacia do Rio Iguaçu, o hidrozoário *C. caspia* alcançou as usinas hidroelétricas de Itaipu e Salto Caxias. A incrustação desse organismo tem causado problemas como entupimentos nos sistemas de filtragem, de dutos hidráulicos, de sistemas de troca térmica, levando o aumento no custo econômico de manutenção e podendo, no caso das tubulações de abastecimento de água, comprometer a qualidade das águas (LACTEC, 2008). Além disso, *C. caspia* tem sido indicada como responsável pela degradação de concreto armado através da biocorrosão, impicando na durabilidade e custo de manutenção de barramentos.

Segundo PHILLIPS *et. al.* (2005) a extensa proliferação e fixação de organismos incrustantes em usinas hidrelétricas podem provocar principalmente o entupimento ou redução da seção de tubulações; aumento na corrosão de tubulações, ligas metálicas, concreto e polímeros, pela proliferação de outros agentes biológicos indesejáveis (bactérias, fungos, etc.); diminuição da vida útil de equipamentos pelo aumento da manipulação durante a manutenção, aumento da mão-de-obra para limpeza ou troca de encanamentos, filtros, etc.; redução da

velocidade do fluxo de água em tubulações devido a perdas por fricção (fluxos turbulentos); acumulação de valvas vazias e contaminação das vias de água por mortalidade massiva, devido a inadequados tratamentos de controle; oclusão de filtros; redução da eficiência de equipamentos de troca térmica.

Devido à falta de estudos científicos na área de controle de bioinvasões de hidrozoários, relatórios técnicos do LACTEC (2008) desenvolvidos em hidroelétricas na Bacia do Iguaçu, foram usados como referências. Segundo eles, os meios de controle usados para espécies invasoras consistem em aplicações de produtos para impedir a reprodução dos invasores e diminuir a presença desses organismos, e testes com produtos especiais para proteger as superfícies das estruturas das geradoras, impedindo a bioincrustação. Testes experimentais de tratamento com Hidróxido de Sódio em trocadores de calor do sistema de resfriamento apresentaram resultados positivos com redução de aproximadamente 70% dos organismos presentes no sistema. A aplicação do produto em concentrações baixas visa alterar o pH da água durante sua passagem pelo sistema, o que parece ser eficaz para impedir a fixação do hidrozoário. Porém, estes testes foram conduzidos na ausência de conhecimento da tolerância ambiental da espécie.

### 1.3 CULTIVO EM LABORATÓRIO E TESTES DE TOLERÂNCIA

O cultivo de hidróides em aquários tem sido utilizado como ferramenta para melhor conhecimento das espécies, já que o acompanhamento e a experimentação *in situ* muitas vezes é inviável, devido a fatores como o tamanho diminuto dos invertebrados, a dificuldade de acesso a áreas de ocorrência, às variações ambientais, fatores externos (competição, predação) e até mesmo complexidade de alguns ciclos de vida.

Testes de tolerância são essenciais para a compreensão da biologia dos organismos, e detecção de possíveis locais de invasão. Ao encontrar limites de variações ambientais tolerados pelos organismos é possível efetuar modelos, como o HSI (Habitat Suitability Index), que detectem áreas propícias à invasão da espécie, tornando mais eficiente e objetivo os métodos de prevenção e controle de bioinvasões (TARBOTON *et. al.*, 2004).

FULTON (1961, 1962) descreveu o cultivo de *C. caspia* em laboratório comprovando a grande capacidade de tolerância a variações ambientais do organismo e conseqüentemente, seu potencial como espécie invasora. Segundo FULTON (*op cit*) sobre crescimento, o pH ótimo para seria de 7.3, mas as colônias analisadas apresentavam crescimento, mesmo que mínimo, em faixas de pH que iam de 5.1 a 9.45. Em relação à temperatura, as colônias cresciam lentamente a 10°C e 30°C, e apresentavam um crescimento ótimo entre 16°C e 26°C. O ótimo para oxigênio dissolvido era 40%. E para salinidade, as colônias cresciam na faixa que ia de 0 a 30 ppmil, sendo 16 ppmil o nível ótimo.

Nos Estado Unidos, FOLINO & INDELICATO (2005) expuseram colônias a temperaturas de 35°C, 36.1°C, 37.7°C e 40.5°C, com tempos de exposição de 1 e 8 horas. Nas duas temperaturas mais altas os hidróides não sobreviveram, nas temperaturas menores, eles apresentaram diferentes taxas de sobrevivência, dependendo da temperatura e do tempo de exposição.

Salinidades de 16.7 ups a 20°C e 10 ups a 10°C foram consideradas como ótimas para crescimento em populações examinadas por KINNE (1957), no Mar Báltico. Já ARNDT (1984) descreveu a salinidade ótima como sendo entre 6 e 10 ups, e temperatura ótima aproximadamente 10°C, para outras populações do Mar Báltico e do Mar Arábico.

#### 1.4 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Sistema de Informações Geográficas – SIG trata-se de um conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e exibição de dados espaciais do mundo real para um conjunto particular de propósitos (BURROUGH & MCDONNELL, 1998).

Um SIG define relações de topologia de dados, descrevendo como as feições estão relacionadas espacialmente. Para definir essa topologia o SIG usa uma estrutura de dados especial, empregando nós, arcos e polígonos. Este sistema também contém dados de atributos (que representam grandezas ou valores), os quais são associados com os elementos topológicos (conjunto de coordenadas que esteja vinculado a um sistema de referencia terrestre ou então mapas ou imagens



georreferenciadas), provendo maiores informações descritivas. Os dados SIG são estruturados em “layers” ou camadas, sendo que em cada camada é armazenado um tipo de informação, facilitando assim a manipulação e edição dos dados.

Tal funcionalidade o permite relacionar os dados atributos com os dados espaciais e vice-versa (FIGUEIREDO, 2003). Este poder relacional da topologia é que dá ao SIG uma grande importância na análise espacial de informações ambientais numéricas e conseqüentemente na aplicação espacial da modelagem ambiental.

Um Sistema de Informações Geográficas pode ser usado como método rápido de identificação de áreas onde é alta a chance de colonização por espécies invasoras (MILLER & IGNACIO, 1994). O trabalho de CHAKRABORTI *et. al.* (2002) demonstra bem essa afirmação, pois os autores utilizaram a metodologia SIG aplicada aos dados limnológicos do Mexilhão Zebra (*Dreissena polymorpha*) e a partir disso geraram espacializações que demonstraram onde o mexilhão apresentava melhor estabelecimento e crescimento.

## 1.5 MODELAGEM HSI

Modelos como o HSI (Habitat Suitability Index) são utilizados para a detecção de possíveis locais de invasão de organismos. Estes modelos tratam-se de meios simples de identificar habitats potenciais para o estabelecimento de uma espécie quando os dados de sua distribuição são poucos ou inexistentes. Nesse tipo de modelo o primeiro passo, no caso de espécies aquáticas, é identificar as variáveis hidrológicas que afetam a espécie alvo, indicadas por estudos anteriores, e então estimar a adequação do habitat à sobrevivência da espécie, de acordo com cada variável encontrada no ambiente natural. O HSI pode ser usado como uma primeira aproximação no sentido de quantificar as relações existentes nos vários conceitos de modelos ecológicos (TARBOTON *et al*, 2004).

Outros tipos de modelos também são testados para a detecção de possíveis locais de invasão, como é o caso do Modelo Analítico utilizado por MILLER & IGNACIO (1994). Neste tipo de modelagem os parâmetros físicos do ambiente alvo da pesquisa são tomados e comparados com os parâmetros necessários para

colonização e sobrevivência do Mexilhão Zebra. Eles estabeleceram índices de 0 para baixa probabilidade de colonização, e 5 para alta probabilidade, e consideram os fatores estudados (cálcio, alcalinidade, temperatura, profundidade, fatores naturais e sociais de dispersão, substratos) como tendo o mesmo grau de importância para estabelecimento do mexilhão. Por fim relacionaram esses fatores com a vulnerabilidade do local a vetores de invasão (água de lastro, substratos flutuantes, ligação com outros lagos ou rios). Esse modelo seguiu uma metodologia própria, sem utilização de outras informações bibliográficas no desenvolvimento dos índices. O modelo HSI seria uma forma prática e eficaz de detectar possíveis locais de invasão para essa espécie.

Para serem eficientes, métodos de detecção devem ter como alvos localidades onde há grande risco de invasão. O modelo HSI trata-se de um índice numérico que representa a capacidade de um habitat suportar uma determinada espécie. Se o valor do índice for alto em um local específico, então as chances da espécie invadi-lo também são altas. Os modelos de HSI usam técnicas de regressão para analisar dados de vários parâmetros ambientais e calcular um índice de ocorrência da espécie.

Os resultados representam as interações das características do habitat e como cada habitat está relacionado a uma determinada espécie. O modelo pode ser construído de várias formas como: escrito, gráfico, estatístico, ou uma combinação desses modelos. Em suma, este tipo de ferramenta serve como base para melhoramento do conhecimento das relações espécie–habitat, definindo importantes locais de possível distribuição da espécie (NHEERL, 2005).

O valor HSI pode ser definido pela razão de uma condição ambiental de interesse (a condição selecionada) e um valor padrão de comparação (condição ótima, de acordo com a literatura). A adequabilidade é expressa por valores de 0.0 (inviável) a 1.0 (ótimo ou perfeitamente viável). Histogramas de índices são construídos representando o comportamento das variáveis seguindo o Procedimento de Avaliação de Habitat da USFWS (1980). As variáveis para compor os índices são

selecionadas a partir de dados experimentais e descritivos da tolerância ambiental da espécie na área de estudo (dados não publicados) <sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> SILVA, A. S. & HARTWICK, E. B. - Site Suitability Index, a comprehensive aquaculture site selection model in a GIS framework for *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) Suspended Oyster Culture.

## 2 OBJETIVOS

Desenvolver metodologia de mapeamento de habitat para o hidróide *Cordylophora caspia*, através do uso do Habitat Suitability Index em Sistema de Informações Geográficas, considerando seus principais limites ambientais obtidos por meio do desenvolvimento de testes de tolerância.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolvimento de técnicas básicas de manutenção e cultivo de colônias de *C. caspia* em laboratório;
- Desenvolvimento de testes dos limites de tolerância da espécie para os seguintes parâmetros: Temperatura, Salinidade e pH;
- Desenvolvimento de metodologia de mapeamento de habitat através do uso do modelo de Habitat Suitability Index (HSI) em um Sistema de Informações Geográficas (SIG);

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A Usina Hidrelétrica Governador José Richa (Salto Caxias) está situada no rio Iguaçu, no Município de Capitão Leônidas Marques, a 600 km de Curitiba. A coleta das colônias de *C. caspia* foi realizada no dia 19/10/2006 em uma área próxima a uma das barragens. O substrato preferencial para a coleta de hidrozoários foi o cabo de polipropileno utilizado para a fixação de experimentos de colonização e recrutamento desenvolvido *in situ* pelo LACTEC. A escolha deste substrato se deu em função da disponibilidade de organismos para o experimento, sem a necessidade de interferir com os ensaios *in situ*. Esses substratos foram previamente instalados propositalmente em locais de grande concentração de hidrozoários, exatamente para posterior coleta e análise. Foram escolhidos dois pedaços de cabos de aproximadamente 60 cm, repletos de hidrozoários.. Esses cabos estavam presos ao “Log-Boom”, estrutura flutuante que impede a passagem de troncos para a turbina hidrogeradora.

As condições da água na ocasião da coleta foram estimadas por medições realizadas pelo Departamento de Recursos Ambientais do LACTEC. As condições ambientais do dia da coleta foram: Temperatura do Ambiente: 26°C; Temperatura da Água: 24°C; Oxigênio Dissolvido: 7,5 mg/L; pH: 7,7; Condutividade: 49; Turbidez: 2 NTUs.

No laboratório em Curitiba, Paraná, as colônias de *C. caspia* foram colocadas em aquários de 60 litros em condições consideradas ideais de temperatura (23°C), pH (7,0), aeração (forte e constante), salinidade (0 ups) e alimentação (náuplios de artêmias, três vezes por semana). Tais condições são baseadas na literatura de FULTON (1962), com adaptações para salinidade e temperatura, as quais foram estimadas de acordo com as condições de campo.

Os hidrozoários foram deixados nessas condições, durante o período de Janeiro de 2007 a Julho de 2008, e sua adaptação e reação ao ambiente artificial foram analisadas através de observações periódicas das colônias em lupa e microscópio ótico, bem como observações a olho nu.

### 3.1 DADOS AMBIENTAIS DO RESERVATÓRIO PARA TESTE DO MODELO GEOPROCESSADO

Os dados ambientais do Reservatório de Salto Caxias, utilizados para o desenvolvimento dos modelos, foram obtidos em banco de dados da empresa COPEL Geração, utilizando-se dados de temperatura, pH e oxigênio dissolvido dos monitoramentos de 11/02/2003, 06/05/2003, 26/08/2003 e 18/11/2003 para 5 pontos amostrais ao longo do reservatório. Utilizou-se na modelagem a média anual de cada ponto, obtida dos quatro monitoramentos (Tabela 1). Adicionalmente, para completar as informações ambientais necessárias à modelagem geográfica, foram considerados mais 3 pontos “artificiais”, gerados a partir de extrapolações numéricas, totalizando 8 pontos com informações ambientais (Tabela 1).

Os pontos foram georreferenciados gerando assim um mapa temático com a localização espacial de cada um deles (Figura 1).

TABELA 1 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DAS ÁGUAS NA USINA HIDROELÉTRICA SALTO CAXIAS.

Pontos	Localização	Coordenadas UTM		Temperatura (°C)	pH	Oxigênio Dissolvido (mg/L)
		E	N			
E1	Rio Iguazu – montante do reservatório (jusante de Salto Osório)	295.358	7.172.597	16,5	7,3	8,4
E2	Reservatório de Salto Caxias – jusante da UHE Júlio Mesquita Filho	288.847	7.173.000	18,6	7,4	7,4
E3	Reservatório de Salto Caxias – Balsa Vorá	268.000	7.172.000	20,9	7,3	6,4
E4	Reservatório de Salto Caxias – Porto Pereira	261.000	7.176.000	25,6	6,4	8,4
E5	Reservatório de Salto Caxias – próximo da barragem	250.096	7.174.105	15,3	8,2	6,5
P1	À esquerda de E2	279.568	7.170.409	19,6	7,2	7,5
P2	À direita de E3	272.551	7.167.316	23,2	6,5	9,6
P3	Entre E4 e E3	265.931	7.180.741	18,5	7,4	8,1

FONTE: LACTEC (2004)

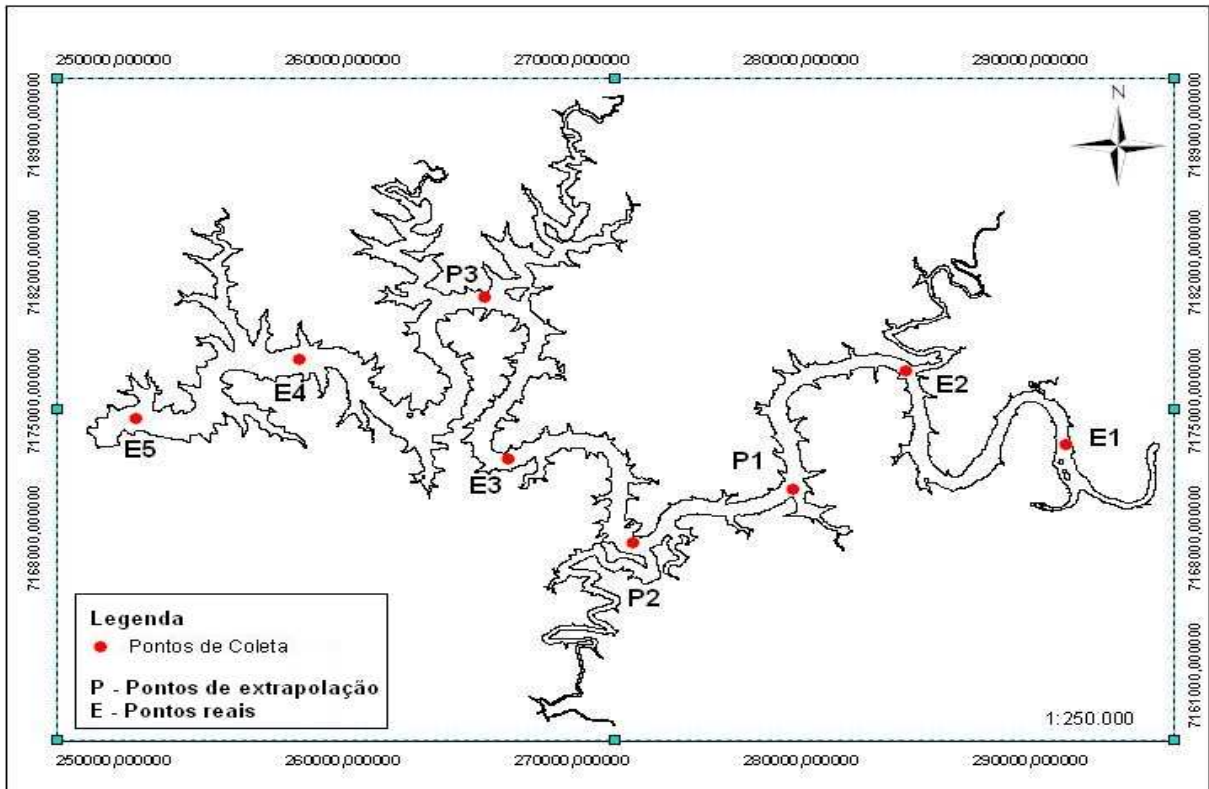


FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM NA USINA HIDROELÉTRICA SALTO CAXIAS, RIO IGUAÇU.

FONTE: O autor (2008) e LACTEC (2004)

### 3.2 LIMITES DE TOLERÂNCIA DA ESPÉCIE

Os testes de tolerância à temperatura, para maior estabilidade térmica, foram realizados em béqueres de 1 litro mantidos em “banho maria” no interior de aquários com volume de água adequado (Figura 2). Em cada aquário foram colocados três béqueres, completados com água deionizada. No primeiro aquário foram instalados 03 aquecedores com termostatos que possibilitavam a elevação da temperatura em níveis pré-definidos. No segundo apenas um termostato mantinha a temperatura constante em 22°C para controle. No terceiro aquário um “chüller” ou resfriador foi utilizado para o resfriamento da água (Anexos B e C). Nos testes, os béqueres continham lâminas de microscopia, incrustadas com colônias de *C. caspia* mantidas em cultivo, cujo número de pólipos ativos variava de 10 a 14. Em testes diferenciados, a temperatura da água foi aumentada ou diminuída em 2°C a cada uma hora e meia, e então os pólipos de cada béquer eram analisados e quantificados. O máximo de temperatura alcançado foi 35°C e o mínimo 8°C.

Nos testes de pH foram utilizados seis béqueres, dois para aumento do pH, dois para diminuição e dois para controle. Nesses testes foram utilizadas lâminas de microscopia colonizadas com *C. caspia*, com uma média de 12 pólipos por béquer (Figura 2). Para diminuir o pH foi utilizada uma solução comercial para aquarofilia com Ácido Fosfórico, e para aumentar foi usada solução 30% de NaOH. Realizaram-se seis testes para aumento e seis para diminuição. As colônias foram expostas por 12 horas a cada variação, e eram analisadas e quantificadas a cada troca. O controle pH 7.

Os testes com pH básico apresentaram dificuldades, pois o pH, nas condições normais da metodologia, aumentava quando colocado NaOH 30%, porém em aproximadamente meia hora ele voltava para um pH neutro. A fim de resolver este problema, foram feitos alguns testes para detectar o que estava fazendo o pH neutralizar. Deixados a 22°C, mas sem aeração, por aproximadamente duas horas o pH não se alterou depois de algumas horas, comprovando que a oxigenação da água estava alterando a composição química da mesma e modificando o pH.

Como a aeração era o problema, realizaram-se testes para saber quanto tempo à colônia sobreviveria sem aeração. Para tal, alguns registros não publicados, mas obtidos por pesquisadores em campo, apontavam que os hidrozoários agüentavam entre 12 e 24 horas sem aeração. Usando isso como base, algumas lâminas foram deixadas por 8 horas sem aeração, e em nenhuma delas a colônia apresentou danos, ou regressão. Por este motivo para os testes de aumento de pH os hidrozoários foram expostos por 6 horas e sem aeração.

Para salinidade foram usados quatro béqueres, dois para controle e dois para os testes, cada um contendo uma lâmina de microscopia com aproximadamente 14 pólipos em cada (Figura 2). Partindo de uma salinidade zero e usando sal marinho artificial, a cada 24 horas eram aumentados 5 ups, chegando ao máximo de 25 ups. A cada troca os pólipos eram analisados e quantificados. O controle foi mantido em 0 ups.



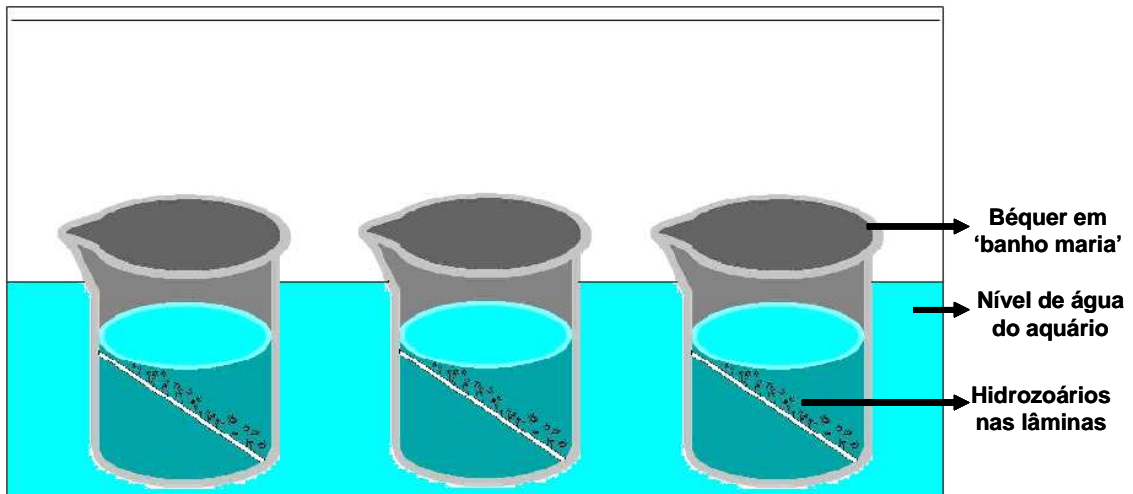


FIGURA 2 – FIGURA ESQUEMÁTICA DA DISPOSIÇÃO DOS BÉQUERES NOS AQUÁRIOS DE TESTES.

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DA MODELAGEM AMBIENTAL

O modelo foi desenvolvido em 3 passos principais com base na metodologia do HSI (USFWS, 1980) e de SILVA (1996):

- estruturação do HSI para a espécie *C. caspia* considerando o HSI como um índice numérico que representa a capacidade do habitat ou local de satisfazer os requerimentos biológicos da espécie;

- levantamento de literatura e compilação de dados de testes laboratoriais de variáveis limitantes para o desenvolvimento da espécie *C. caspia*, para a construção de gráficos de índices para cada variável;

- integração do modelo HSI para *C. caspia* com um Sistema de Informações Geográficas (SIG) considerando dados ambientais reais de uma bacia hidrográfica do estado do Paraná.

### 3.4 HABITAT SUITABILITY INDEX (HSI)

O modelo HSI foi desenvolvido para mapear habitats relacionados às condições ideais de *C. caspia* de acordo com a literatura especializada e observações de campo. Foram levadas em consideração variáveis ambientais selecionadas de acordo com pesquisas experimentais e em pesquisas bibliográficas.

O Índice numérico alcançado representa a capacidade do habitat para satisfazer os requisitos necessários para sobrevivência da espécie estudada.

O valor HSI pode ser definido pela razão entre uma condição ambiental de interesse (Condição de Habitat Seleccionada) e um valor padrão de comparação (Condição Ótima de Habitat para a espécie de acordo com a literatura e/ou experimentos).

$$\text{HSI} = \frac{\text{Condição de Habitat Seleccionada}}{\text{Condição Ótima de Habitat}}$$

Os resultados serão valores entre 0.0 e 1.0, onde o valor mais alto representa um índice de habitat mais adequado para a espécie em relação a uma condição ambiental específica, e o valor mais baixo representa um índice de habitat inadequado para a espécie de acordo com a variável tomada. Esse modelo assume uma relação linear entre o valor resultante e a capacidade do habitat de comportar a espécie em condições naturais (BROWN & HARTWICK, 1988).

Foram construídos histogramas representando dados quantitativos para cada variável usada no modelo, segundo os valores obtidos para cada um delas nos testes de tolerância. Interações entre as variáveis definem um índice final calculado a partir da media geométrica das variáveis que influenciam no modelo. (SILVA, 1996).

### 3.5 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

A partir do mapa da área do reservatório de Salto Caxias, com sua “linha de margem” georreferenciada no sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), Datum SAD 69, os dados ambientais foram integrados no SIG. Criaram-se entidades geográficas nos seguintes planos de informações: Área do projeto (delimitação do reservatório) – feição poligonal; Pontos de Coleta – feições pontuais. Uma vez montada essa base de dados, incluindo os dados ambientais georeferenciados (Microsoft Office Access), foi possível realizar análises espaciais das variáveis utilizadas no estudo.

Os dados de cada variável foram interpolados para construção de um modelo numérico do terreno. A modelagem numérica trata-se da representação matemática

computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície. Neste trabalho foi utilizado o método de interpolação “Distância Inversa Ponderada” (IDW - Inverse Distance Weighed), o qual pode estimar valores desconhecidos, calculando os valores para as células (expressos em valores DN) pela média dos valores das amostras na vizinhança de cada célula (FIGUEIREDO, 2003). Estes cálculos são gerados diretamente sobre a feição dos pontos.

Para adequar estes valores das variáveis para uma escala entre 0 e 1, ou seja, calcular o Índice de Adequação do Habitat, foi usado o “Raster Calculator” da extensão Spatial Analyst. E finalmente, da média geométrica entre os mapas raster de cada variável, através da sobreposição de camadas, foi obtido o mapa georreferenciado do HSI para a espécie estudada, segundo método aplicado por FIGUEIREDO (2003).

A validação do processo é feita através da comparação entre os resultados da modelagem em geoprocessamento e os dados de campo (dados não publicados) <sup>3</sup>.

### 3.5.1 Espacialização dos Dados das Variáveis

A interpolação dos dados foi usada para estimar a distribuição da temperatura, pH e oxigênio ao longo do reservatório. Obteve-se a partir do método IDW a espacialização desses dados gerando mapas temáticos para cada parâmetro.

## 3.6 APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE ADEQUAÇÃO DE HABITAT (HSI)

Foram levantados nos testes e na literatura, os dados de limites de tolerância da espécie *C. caspia*, levando em consideração os valores máximo, mínimo e faixa ótima para sobrevivência do organismo.

Segundo a metodologia desenvolvida pela USFWS (1980), a adequabilidade de uma variável é representada em um gráfico que demonstra o relacionamento entre as variáveis e o índice HSI; o eixo horizontal representa os valores da variável, e o

---

<sup>3</sup> SILVA, A. S. & HARTWICK, E. B. - Site Suitability Index, a comprehensive aquaculture site selection model in a GIS framework for *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) Suspended Oyster Culture.

eixo vertical assume os valores de índice que expressam a qualidade do habitat, de 0.0 (nenhuma adequabilidade) a 1.0 (valores ótimos de adequabilidade).

O relacionamento entre o HSI e a variável exibida no gráfico independe de que outras variáveis também possam afetar o Índice final. Aplicando-se ao gráfico geral os valores obtidos nos testes de tolerância da primeira etapa da pesquisa, ou valores obtidos por meio de uma revisão bibliográfica, definiram-se assim os intervalos de ótimos, e então foram construídos os gráficos do HSI para cada variável.

Ressalta-se que nessa etapa a variável Salinidade, embora testada em laboratório, foi desconsiderada para a modelagem ambiental, já que a área de aplicação do modelo SIG trata-se de um reservatório de água-doce, com valores de salinidade próximos de zero e com variações não representativas, logo o ambiente em questão sempre será adequado nesse parâmetro. Os parâmetros considerados no modelo foram: o Oxigênio Dissolvido, para qual os dados foram obtidos através de revisão bibliográfica principalmente em FULTON (1962); a Temperatura, obtida em experimentos, e: o pH obtido em experimentos.

TABELA 2 – PARÂMETROS CONSIDERADOS PARA CONSTRUÇÃO DOS HISTOGRAMAS DOS ÍNDICES DE ADEQUAÇÃO DO HABITAT, SEGUNDO OS TESTE DE TOLERÂNCIA DESENVOLVIDOS EM LABORATÓRIO E LITERATURA.

Variáveis	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Ótimo	Fonte
Temperatura (°C)	35	8	16 - 27	GUTIERRE, 2007
pH	10	4	5,5 - 8,0	GUTIERRE, 2007
Oxigênio (mg/L)	20	0	5,0 – 9,0	FULTON, 1962

**FONTE:** O autor (2008) e FULTON (1962).

### 3.7 METODOLOGIA HSI APLICADA A RECURSOS DO SIG

Usando como ferramenta a álgebra de mapas, criou-se uma função expressando o comportamento dos gráficos, para tornar possível a espacialização dos índices demonstrados nos gráficos.

No modelo HSI o valor 1.0 corresponde ao valor ótimo de desenvolvimento da espécie e o valor zero a situação oposta. Os valores entre zero e 1.0 representam o aumento da probabilidade de sobrevivência da espécie, ou a diminuição dessa probabilidade.

Dividiu-se assim cada gráfico do Índice de cada variável em quatro segmentos, conforme o gráfico a seguir:

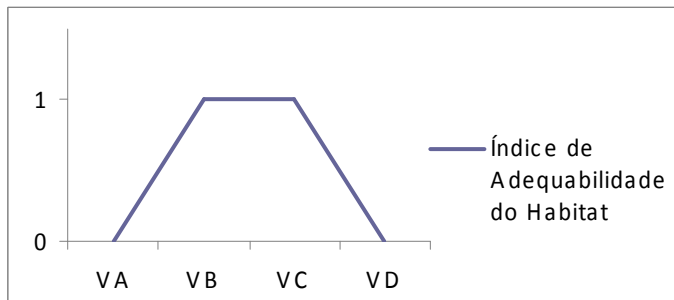


FIGURA 3 - GRÁFICO DO ÍNDICE DE ADEQUABILIDADE DO HABITAT (HSI).

FONTE: UFSWS (1980).

Cada expressão abaixo, quando aplicada na ferramenta “Raster Calculator” da extensão “Spatial Analyst” do software ArcGis 9.2, produz um arquivo raster, com pixels de valores 0 ou 1.0. Cada segmento do gráfico é representado por uma expressão matemática:

$$[A] = [IDW] \leq VA$$

$$[B] = [IDW] > VA \ \& \ [IDW] < VB$$

$$[C] = [IDW] \geq VB \ \& \ [IDW] \leq VC$$

$$[D] = [IDW] > VC \ \& \ [IDW] < VD$$

$$[E] = [IDW] \geq VD$$

[IDW] representa a interpolação da variável em questão, e V os valores máximo (D), mínimo (A) e ótimos (B e C), de cada variável.

Ainda usando a álgebra de mapas, somaram-se os arquivos raster gerados acima calibrando o valor do parâmetro para a faixa de valores entre 0 e 1.0.

$$([A] * 0) + ([B] * (([IDW] - VA) / (VB - VA))) + [C] + ([D] * ((VD - [IDW]) / (VD - VC))) + ([E] * 0)$$

O resultado da expressão acima é um arquivo raster com a distribuição espacial do HSI ao longo do reservatório, para um único parâmetro. Repetiu-se o procedimento para os demais parâmetros.

### 3.8 TRATAMENTO DOS ARQUIVOS 'RASTER'

Para elaboração dos mapas da distribuição espacial do HSI de cada variável e do mapa final, representando a interação das três variáveis, houve necessidade de diferenciar a parte terrestre do mapa da parte do corpo aquoso do reservatório. Para isso foi utilizada a ferramenta de máscara denominada de "Analysis mask" da extensão "3D Analyst" do software ArcGis 9.2. Este comando possibilita que apenas a área do reservatório seja considerada na hora de fazer as interpolações espaciais e a aplicação dos índices, não incluindo a parte terrestre do local.

### 3.9 CÁLCULO FINAL DO HSI

Para calcular o HSI final, foi utilizada a metodologia descrita por SILVA (1995, p.20).

O critério considerado foi o da média geométrica referenciado com um determinado número de variáveis (três, no caso).

A media geométrica das variáveis é representada pela expressão:

$G = (V1 \times V2 \times V3)^{0,33}$ , sendo G = média geométrica e V = variável.

Como no caso eram três variáveis, e considerando que todas têm peso igual, o índice máximo representado por 1.0 está dividido em três partes, por isso a expressão é elevada a 0.33 (aproximação).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 TESTES DE TOLERÂNCIA

Primeiramente, foram realizados testes de tolerância relativos à temperatura. As alterações deste parâmetro a cada uma hora e meia tiveram efeitos demonstrados na Figura 4. À medida que a temperatura diminui o número de pólipos também diminui. A 10°C não havia mais nenhum pólipo, porém ainda havia fragmentos de cenossarco. Já a 8°C, após duas horas de exposição, não havia mais nenhum resquício de parte viva em nenhuma das amostras. Depois de relatada a morte da colônia, ela foi deixada sete dias em condições normais, porém não houve regeneração da mesma.

Nos testes de limite superior, o número de pólipos também diminuiu gradativamente. Na máxima temperatura alcançada, 35°C, ainda havia pólipos ativos, mesmo depois de 4 horas de exposição. Não foi possível verificar os feitos de maiores temperaturas, pois os aquecedores não conseguiam atingir valores maiores, possivelmente devido a influência da temperatura externa sobre os aquários. Para conseguir alcançar um limite onde a colônia morreria, ela foi exposta por mais de 12 horas na temperatura máxima alcançada (35°C) e após esse tempo já não havia mais nenhum resquício de partes vivas. Também não houve regeneração após sete dias em condições normais.

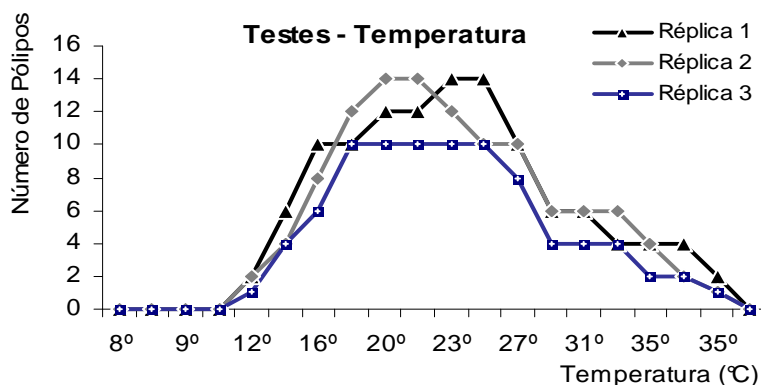


FIGURA 4 – TESTE DE TOLERÂNCIA PARA TEMPERATURA.

FONTE: O autor (2007)

Para pH, os resultados estão representados no Figura 5. A colônia foi bastante resistente no princípio, mas a partir do momento em que o pH ficou menor que 5.0, a colônia teve uma queda drástica de número de pólipos e começou a apresentar regressão. Com o pH menor que 4.5 os pólipos eram praticamente inexistentes ou se encontravam retraídos, e em pH 4.0 já não havia mais pólipos nem partes vivas nas colônias. Deixados por sete dias em condições favoráveis a colônia não apresentou regeneração.

Nos testes de limite superior, as colônias se mostraram bem adaptadas de pH 7.5 a 8.5, e a partir disso os pólipos começaram a se retrair. Em pH 9.0 ainda havia pólipos ativos, porém a maioria estava regredindo, em pH 9.5 os poucos pólipos restantes estavam bem retraídos; já em pH 9.8 não havia mais pólipos em boas condições e restaram poucas partes vivas na colônia. Em pH 10 a colônia morreu por inteira e não houve regressão após sete dias.

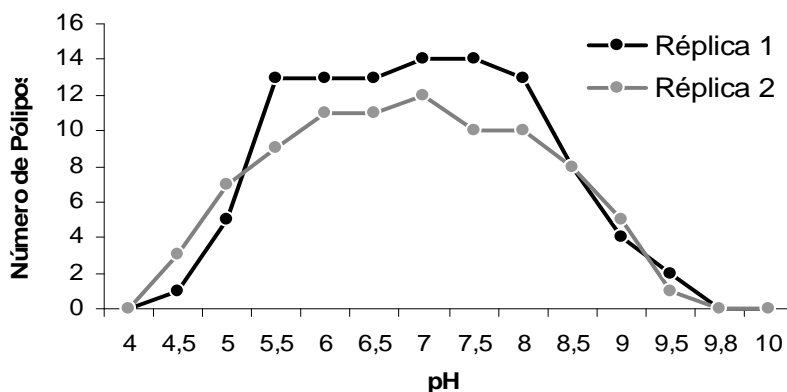


FIGURA 5 – TESTE TOLERÂNCIA PARA pH.

FONTE:O autor (2007)

No primeiro aumento de salinidade, de 0 ups para 5 ups, após 24 horas de exposição da colônia, não houve danos aos organismos da amostra. Já a 10 ups os pólipos apresentaram um pouco de intolerância, mas esta foi mesmo evidente em 15 ups, quando morreram alguns pólipos e os que restaram estavam bem retraídos; a 20 ups não havia mais nenhum pólipo, mas havia algum resquício de cenossarco. Por fim, a 25 ups, houve morte total da colônia, sem posterior regeneração (Figura 6).



Tabelas representando os dados dos testes de tolerância demonstrados nos gráficos acima, podem ser vistas no anexo A.

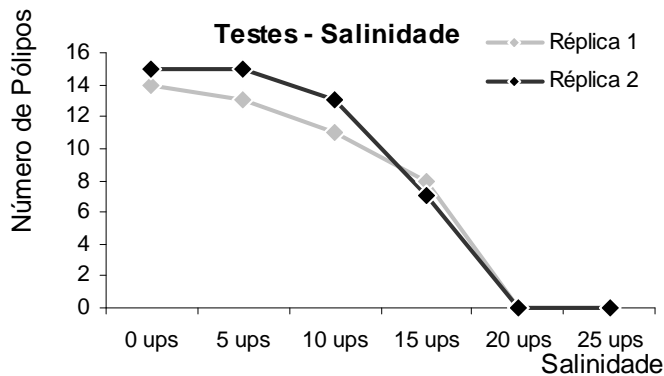


FIGURA 6 – TESTE DE TOLERÂNCIA PARA SALINIDADE.

FONTE: GUTIERRE, 2007

Corroborando com a conclusão de SCHUCHERT (2004) observou-se que à medida que se aumentava a salinidade os hidrantes iam ficando mais alongados e com tentáculos mais finos e compridos. Já para temperatura e pH não houve nenhuma alteração parecida. Em todos os parâmetros à medida que a colônia apresentava regressão os hidrantes iam se retraindo e o cenossarco ia se desintegrando. A morte era registrada quando só era visível o esqueleto sem vida, ou perissarco (Figura 7).



FIGURA 7 – FOTO DO INDIVÍDUO NORMAL E ATIVO (1), REGRESSÃO DOS PÓLIPOS (2,3) E MORTE DA COLÔNIA (4).

FONTE: O autor (2007)

Para a variável Oxigênio Dissolvido o valores dos limites foram obtidos através de uma revisão bibliográfica. O principal trabalho utilizado foi FULTON (1962) no qual o autor descreve que a ausência de oxigênio é o fator de mortalidade, ou seja, limite mínimo, e em aproximadamente 40% de saturação há crescimento ótimo, ou seja, aproximadamente 6.5 mg/L de oxigênio dissolvido seria o valor ótimo, esse valor extrapolado em uma faixa de ótimo acarretaria em valores entre 5.0 mg/L e 9.0 mg/L. A supersaturação foi baseada em dados descritos para outros invertebrados também de ambientes de água-doce (FIDLER & MILLER, 1994), já que não foram encontrados dados para *C. caspia* nesse sentido. O valor do limite máximo foi definido em 20 mg/L.

#### 4.2 INTERPOLAÇÃO DOS DADOS DAS VARIÁVEIS

A partir do método de interpolação IDW foram obtidos os mapas temáticos representando a espacialização de cada variável.

Nestas interpolações foi possível verificar a variação da temperatura, do pH e do oxigênio dissolvido ao longo da área do reservatório. As áreas de menor temperatura registrada se concentravam na parte oeste, e de maior nas partes central e leste (Figura 8). Para o pH foi possível observar a parte central e leste como sendo mais ácida, e a parte oeste mais básica (Figura 9). As menores concentrações de oxigênio dissolvido foram observadas na parte leste, já as maiores concentrações eram na parte centro-oeste do corpo aquoso (Figura 10).

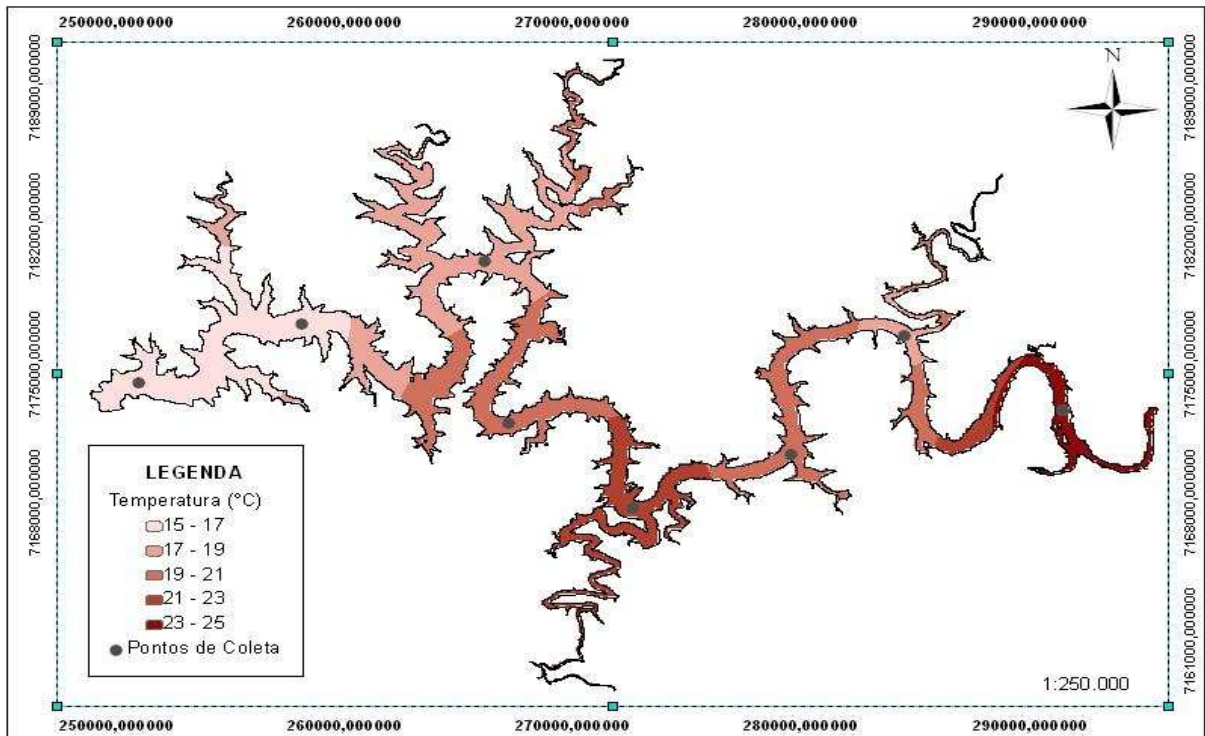


FIGURA 8 – ESPACIALIZAÇÃO DA VARIÁVEL TEMPERATURA AO LONGO DO RESERVATÓRIO DE SALTO CAXIAS, UTILIZANDO O MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO IDW.

FONTE: O autor (2008).

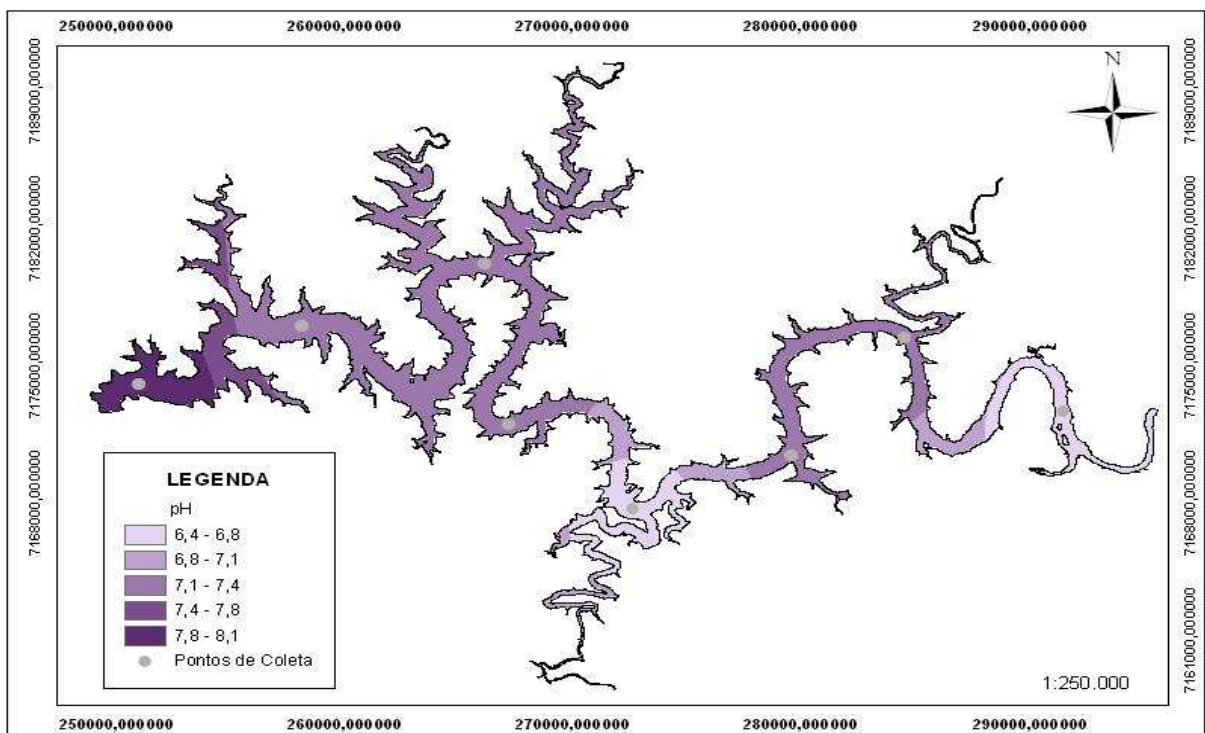


FIGURA 9 – ESPACIALIZAÇÃO DA VARIÁVEL PH AO LONGO DO RESERVATÓRIO DE SALTO CAXIAS, UTILIZANDO O MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO IDW.

FONTE: O autor (2008).

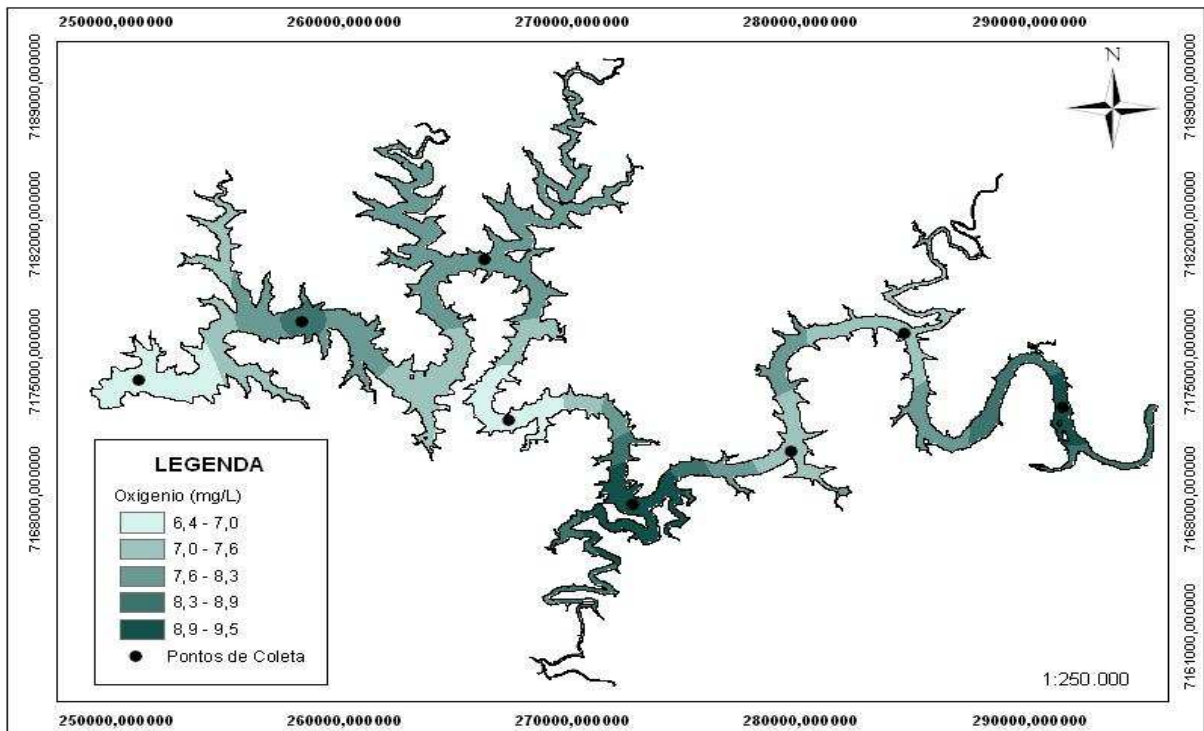


FIGURA 10 – ESPACIALIZAÇÃO DA VARIÁVEL OXIGÊNIO AO LONGO DO RESERVATÓRIO DE SALTO CAXIAS, UTILIZANDO O MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO IDW.

FONTE: O autor (2008).

#### 4.3 MODELO DE ADEQUAÇÃO DE HABITAT

Os resultados da espacialização da metodologia desenvolvida para a aplicação do HSI para as variáveis podem ser visualizados em mapas contendo a distribuição espacial desse índice para cada variável, e o gráfico HSI correspondente (Figura 11, 12 e 13).

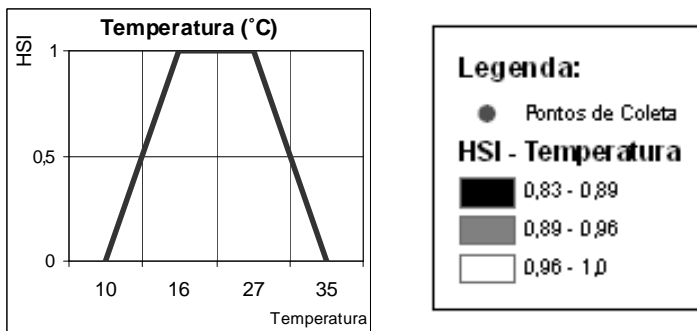
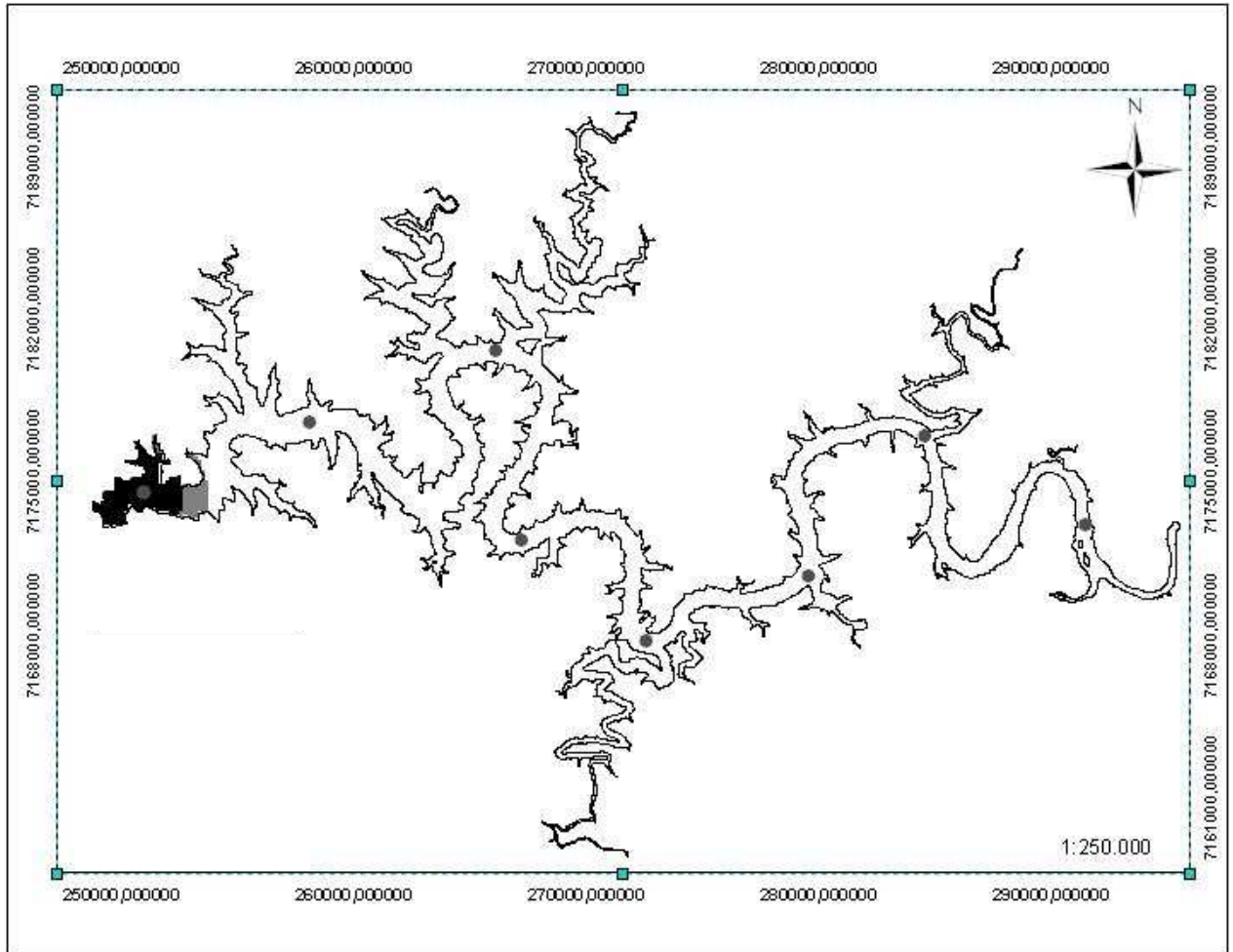


FIGURA 11 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO HSI PARA A VARIÁVEL TEMPERATURA SEGUNDO PADRÕES DOS DADOS DOS TESTES DE TOLERÂNCIA, APLICADO AO GRÁFICO HSI – TEMPRATURA.

FONTE:O autor (2008).

Segundo a Figura 11 as áreas com melhores índices HSI – 0,8 a 1,0 – para a variável temperatura estão localizadas por todo o reservatório, já que as variações desse parâmetro não são muito grandes.

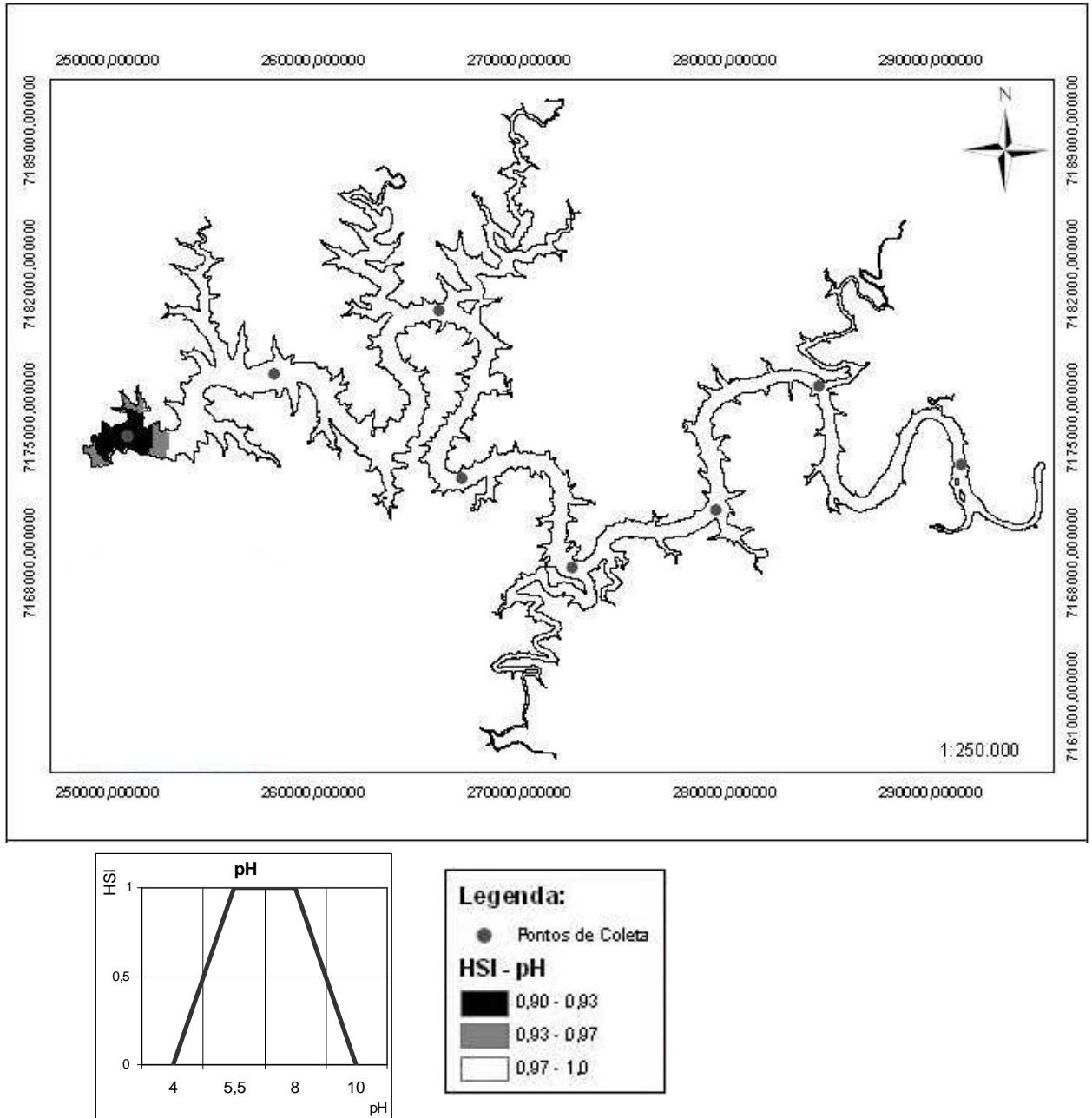


FIGURA 12 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO HSI PARA A VARIÁVEL pH SEGUNDO PADRÕES DOS DADOS DOS TESTES DE TOLERÂNCIA, APLICADO AO GRÁFICO HSI – pH.

FONTE: O autor (2008).

Segundo o Figura 12 as áreas com melhores índices HSI – 0,9 a 1,0 – para a variável pH são encontradas em todo o reservatório, já que as variações desse parâmetro também não são grandes.

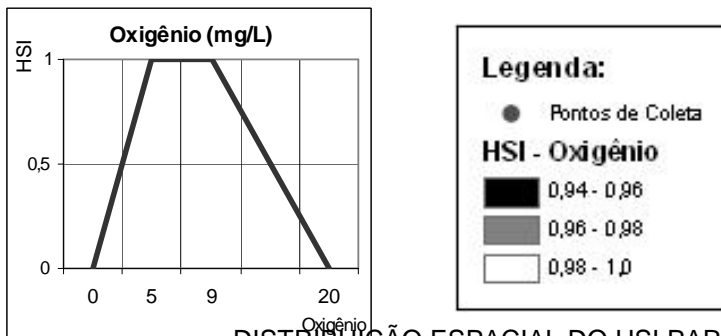
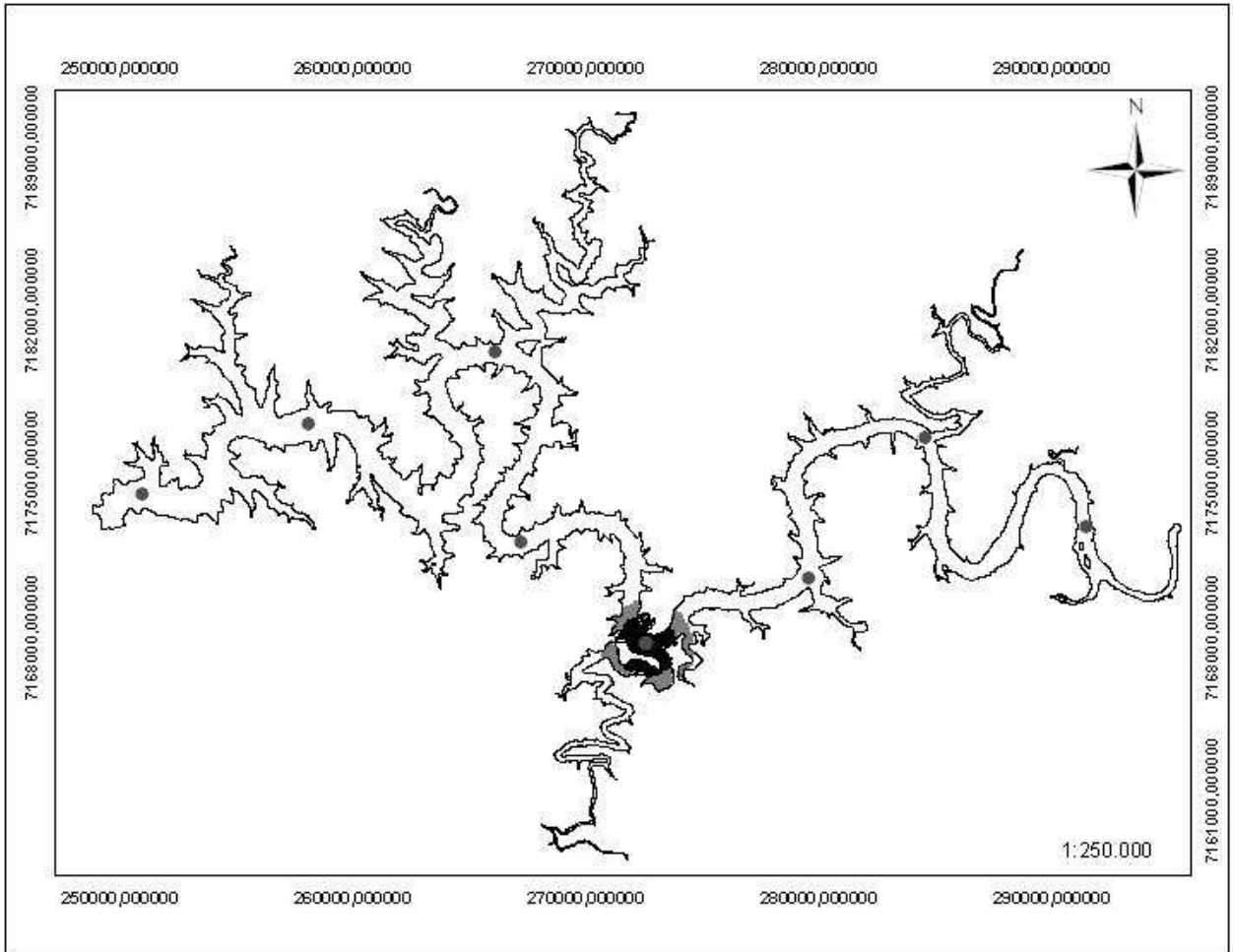


FIGURA 13 –  
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO HSI PARA A VARIÁVEL OXIGÊNIO  
SEGUNDO PADRÕES DOS DADOS DOS TESTES DE TOLERÂNCIA, APLICADO  
AO GRÁFICO HSI-OXIGÊNIO.

FONTE: O autor (2008).

Segundo o Figura 13 as aéreas com melhores índices HSI – 0,9 a 1,0 – para a variável oxigênio cobrem todo o reservatório, já que há pouca variação desse parâmetro no local.

Obteve-se o mapa final através do produto pixel a pixel dos mapas de cada variável utilizada, sendo assim representado:

$M_{\text{final}} = V1 \times V2 \times V3$ , sendo M = mapa e V = variável.

Este mapa final com a distribuição HSI indicando as áreas de melhores condições para a sobrevivência de *C. caspia* demonstra que há valores máximos do Índice, ou seja 1.0, para praticamente todo o reservatório, portanto segundo os parâmetros utilizados há 100% de chances de estabelecimento da espécie na área de estudo.

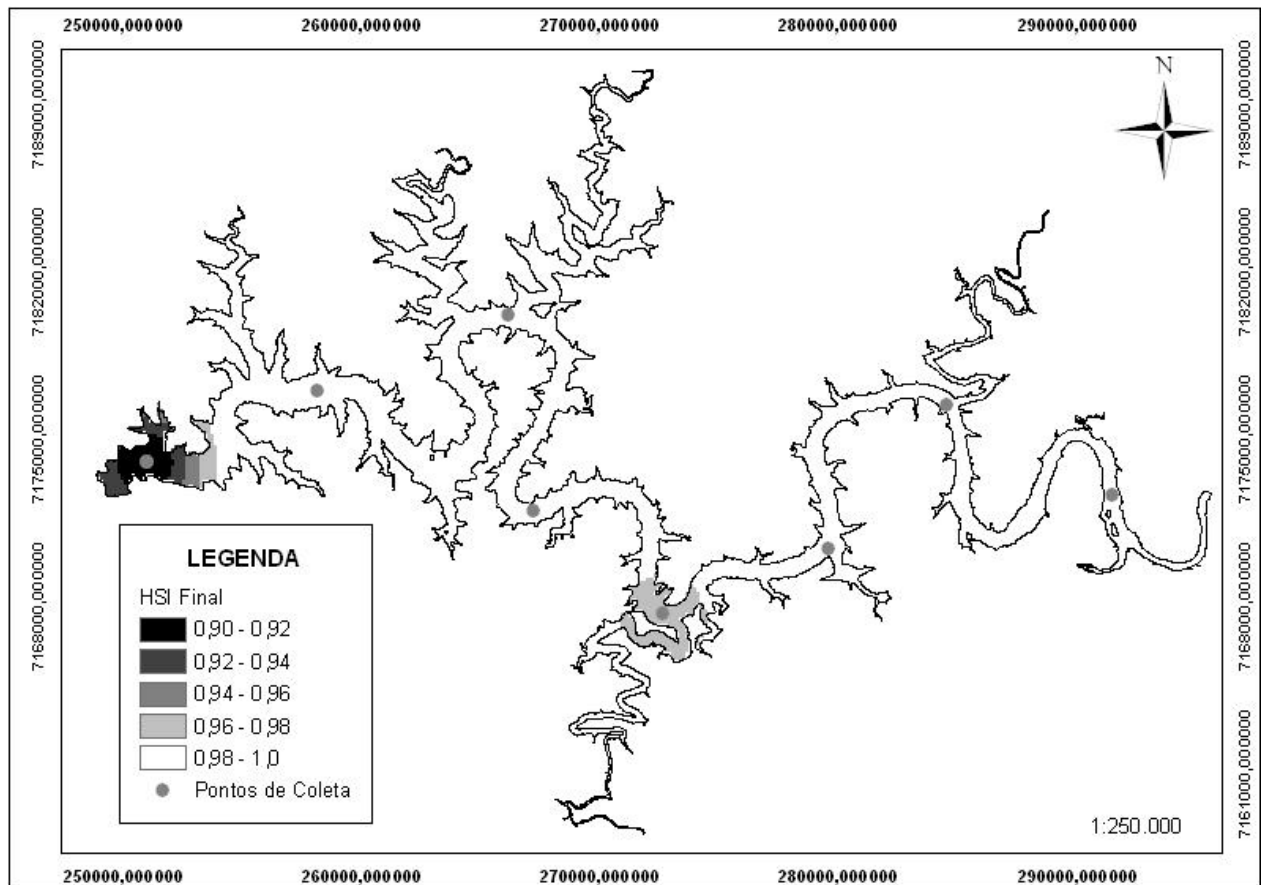


FIGURA 14 – ÁREAS DE RISCO DE ESTABELECIMENTO DE *C. CASPIA*, SEGUNDO OS PADRÕES DOS TESTES DE TOLERANCIA, AO LONGO DO RESERVATÓRIO DE SALTO CAXIAS.

FONTE: O autor (2008).

A Figura 14 representa o mapa final que demonstra o resultado da implementação do HSI no SIG, ou seja, é a sobreposição dos três mapas que representavam cada variável, formando um só mapa interligando essas os índices encontrados para essas três variáveis.



## 5 DISCUSSÃO

Nos testes de tolerância, correspondendo com os resultados de FOLINO & INDELICATO (2005), na temperatura de 35°C os hidróides sobreviveram por algumas horas de exposição, mas quando ultrapassadas mais de 12 horas, houve morte total da colônia sem posterior regeneração.

Os testes de pH também demonstraram a grande maleabilidade da espécie, já que mesmo em pH ácido, de 5.0, os pólipos continuavam ativos, e só em pH bastante baixo, de 4.0, é que a colônia morreu sem posterior regeneração. O mesmo acontecendo nos testes de limite superior, onde mesmo em pH básico de 9.0 os pólipos ainda resistiam e só em pH 10 houve morte da colônia, sem que houvesse regeneração posterior.

Considerando que os organismos utilizados foram encontrados em água doce, era previsível que ao se aumentar à salinidade eles começassem a regredir e morrer. Mas os testes foram essenciais para comprovar o grau de adaptação da espécie e sua plasticidade ambiental, levando em consideração que mesmo a 15 ups ainda existiam indivíduos vivos nas colônias e a 20 ups havia fragmentos de cenossarco, ou seja, se deixadas posteriormente em condições favoráveis seria provável a regeneração das colônias. Os testes de tolerância confirmam o potencial adaptativo da espécie, e ressaltam que esta grande maleabilidade é responsável por ser caráter invasor. Para os sistemas hidráulicos próximos de onde os organismos do trabalho foram coletados, foi possível determinar coaborar com possíveis testes que auxiliem na erradicação da espécie, como o aumento ou diminuição de pH e temperatura acima dos limites de tolerância encontrados para o organismo. A partir dos dados obtidos no trabalho pode-se estabelecer que tipo de método seria mais viável e efetivo no controle dos hidrozoários.

A determinação de possíveis locais de invasão de *C. caspia* a partir do limites encontrados, só é válida se considerarmos uma escala regional, já que existem diferentes colônias da espécie em diversos locais do mundo, cada qual com diferentes limites de tolerância, ou seja, diferentes morfotipos, o que pode ser comprovado pela literatura.

O desenvolvimento de modelos HSI aplicados em SIG, e também de outros modelos similares, apesar de sua aplicabilidade, potencial e precisão, dependem de uma ampla disponibilidade de dados para que se possa estruturar e alcançar melhores resultados.

As interpolações não tiveram a precisão esperada pela carência de pontos de coleta, que poderiam representar melhor as condições ambientais do reservatório, e assim evitar erros de interpolação geográfica para estimar distribuição de valores da variável. No modelo utilizado, apenas cinco pontos apresentavam dados reais dos monitoramentos da COPEL, os outros três representam pontos artificiais com extrapolações a partir dos dados dos pontos reais. Uma vez que o estudo estava apenas testando a viabilidade de modelagem geográfica de dados ambientais, este artifício ajudou a gerar resultados de interpolação mais adequados.

Um banco de dados de variáveis ambientais baseado em coletas pontuais e escassas, introduz dados insuficientemente corretos, e pode afetar a exatidão do modelo proposto. Essa insuficiência pode ter gerado erros no processo de operações do SIG. Além do fato de que mais variáveis ambientais são responsáveis pela sobrevivência da espécie em ambiente natural, logo extrapolar coletas pontuais e poucos parâmetros ambientais a toda a região do reservatório pode ter sido uma aproximação simplória. A mesma conclusão foi tirada por CHAKRABORTI *et. al.* (2002) que fizeram um estudo parecido com mexilhão zebra. Porém esses mesmos autores afirmam que mesmo com uma disponibilidade limitada de dados, esses resultados preliminares do modelo HSI-SIG baseado nos limites da espécie, são de razoável significância, já que proporcionam um conhecimento importante para estimativas de áreas de risco de invasão dos ambientes utilizando o SIG. Daí a importância dos experimentos em laboratório que serviram como dados essenciais para a modelagem e o geoprocessamento. Para melhoramento do banco de dados do reservatório poderia ter sido utilizado a metodologia de captura de dados por satélite, já que essa tem sido considerada uma forma fácil de obtenção dados de campo, e que tem sido bastante utilizada pela sua praticidade. Para substratos aquosos este método possibilita o conhecimento de dados para temperatura, clorofila e turbidez, por exemplo (NOVO, 1995). Esta poderia ser uma solução para melhorar e complementar os poucos dados de coleta obtidos nesta pesquisa. Porém

mesmo nesse tipo de procedimento é necessária uma complementação *in situ*, já que falhas podem acontecer nos equipamentos utilizados para captação dos dados.

As variáveis utilizadas nesse trabalho para o cálculo do HSI representam uma parcela importante, porém, não completa da abrangência de dados necessária ao uso do HSI. Os parâmetros considerados mais importantes para a sobrevivência de uma espécie de hidrozoário são a temperatura, o oxigênio dissolvido, o pH, a alimentação (plâncton) e turbidez. No presente trabalho, foram utilizados três desses parâmetros importantes. Embora o número de variáveis não seja completo para representar um ambiente natural, esta metodologia permite a incorporação de novos índices com a conseqüente ampliação e refinamento dos resultados, servindo também de literatura base para uma extrapolação dos métodos para outros locais de risco de invasão, além de outras espécies, e assim auxiliando na prevenção das introduções dessa espécie invasora em novas áreas.

Logo os dados obtidos nos experimentos são de suma importância para o conhecimento da biologia e da ecologia de *C. caspia*, e servem de base para pesquisas posteriores que possam servir de complementação. Não havendo a possibilidade de uma pesquisa mais aplicada para determinação de diferentes pesos para cada variável, elas foram consideradas como igualmente importantes na sobrevivência da espécie. Um monitoramento em *in situ* seria a solução para se saber qual parâmetro ambiental interfere de forma mais ou menos acentuada na vida do organismo.

A metodologia SIG utilizada pode ser extrapolada para qualquer outra espécie, desde que sejam conhecidos os limites de tolerância e os dados da área de estudo, para construção dos gráficos e elaboração de mapas para uma análise de risco de invasão. Esses métodos também podem ser utilizados com diferentes finalidades, como detectar áreas propícias para cultivo, avaliar outras características como crescimento e dinâmica de populações, entre outros. Ou até mesmo servir para a avaliação conjunta de todos esses parâmetros (MACISAAC, 1994 *apud* CHAKRABORTI *et. al.*, 2002). Ou seja, a metodologia HSI aplicada em SIGs é uma ferramenta poderosa, fácil e com grande número de aplicações, especialmente no campo das bioinvasões.

O mapa final com a distribuição do Índice de Adequação do Habitat mostrou áreas de grande risco de invasão, ou seja, áreas mais propícias à sobrevivência do hidrozoário, e áreas com pouco risco de invasão, onde as condições ambientais não são favoráveis para a espécie. A partir desses dados concluiu-se que área do reservatório não apresentou nenhum local onde o hidrozoário não tenha condição de se estabelecer. O mínimo encontrado na Adequação de Habitat foi de 0.8, e este valor é considerado sub-ótimo para o HSI. Logo o reservatório de Salto Caxias, como já comprovado em campo, representa um habitat favorável para *C. caspia*, ou seja, é um habitat susceptível a invasão.

Pesquisas futuras podem utilizar estimativas mais refinadas dos limites de tolerância da espécie, avaliando também o peso de cada variável, e utilizando diferentes áreas com mais pontos amostrais, gerando um trabalho de maior validade prática.

Este trabalho teve como finalidade demonstrar a funcionalidade do modelo HSI-SIG além de contribuir para melhor conhecimento dos dados biológicos de *C. caspia*, usando parâmetros mais viáveis de serem reproduzidos em laboratório, já que existem limitações espaciais, temporais e econômicas para desenvolvimento de uma pesquisa mais completa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNDT, E.A., 1984. The ecological niche of *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771). *Limnologica*, 15, 469-477.

ARNDT, E.A., 1989. Ecological, physiological and historical aspects of brackish water fauna distribution. In **Proceedings of the 23rd European Marine Biology Symposium**, Swansea, 5-9 September 1988. Reproduction, Genetics and Distribution of Marine Organisms, (ed. J.S. Ryland & P.A. Tyler), p. 327-338. Denmark: Olsen & Olsen.

BASKIN, Y. 2002: A plague of rats and rubbervines: the growing threat of species invasions. Washington: **Island Press**.

BELZ, Carlos Eduardo, 2006. **Análise de risco de bioinvasão por *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857): um modelo para a bacia do rio Iguaçu, Paraná**. UFPR, 2006. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Zoologia. Programas de Pós-graduação da CAPES. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BROWN, J. R. & HARTWICK, E.B., 1988. A habitat suitability index model for suspended tray culture of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. **Thunberg Aquaculture Research** 19 (2), 109–126.

BURROUGH, P. A. & MCDONNELL, R. A., 1998. **Principles of Geographic Information Systems**. Oxford University Press, Oxford, UK.

CHAKRABORTI, R.K., KAUR, J., AND DEPINTO, J.V., 2002. Analysis of Factors Affecting Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*) Growth in Saginaw Bay: A GIS-Based Modeling Approach, **Limno Tech Inc**

CORDERO, H.E, 1941. Observaciones sobre algunas espécies Sudamericanas del gênero *Hydra*. e *Cordylophora* en el Uruguay. – An. **Acad. Bras. Ciências**, 11:335-400.

FIGUEIREDO, Débora C. S, 2003. **Desenvolvimento de metodologia em SIG aplicada ao índice de adequabilidade do habitat – IAH, para indicação de áreas propícias ao cultivo de ostra**. Curitiba. Universidade Federal do Paraná, 60 p. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFPR.

FIDLER, L.E. & MILLER, S.B., 1994. **British Columbia Water Quality Guidelines for Dissolved Gas Supersaturation**. BC Ministry of Environment Canada Department of Fisheries and Oceans Environment Canada. September, 1994. Disponível em: <http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/tgp/index.html>. Acesso em 18 de Junho de 2008.

FOLINO, N.C., 2000. The freshwater expansion and classification of the colonial hydroid *Cordylophora* (Phylum Cnidaria, Class Hydrozoa). In Pederson, Judith (ed.) **Marine Bioinvasions: Proceedings of the First National Conference**, January 24-27, 1999. Massachusetts Institute of Technology Sea Grant College Program, Cambridge MA. p. 139-144.

FOLINO-ROREM, N.C.; INDELICATO, J., 2005. Controlling biofouling caused by the colonial hydroid *Cordylophora caspia*. **Water Research** 39:2731-2737

FULTON, C., 1961. The development of *Cordylophora*. In **The Biology of Hydra** and some other coelenterates (ed. H.M. Lenhoff & W.F. Loomis), pp. 287-295. Miami Florida: University of Miami Press.

FULTON, C., 1962. Environmental factors influencing the growth of *Cordylophora*. **Journal of Experimental Zoology**, 151, 61-78.

GILI, J-M.; HUGHES, R.G., 1995. **The ecology of marine benthic hydroids**. **Oceanography and Marine Biology: an Annual Review**, 33, 351-426

GLOBAL BALLAST WATER MANAGEMENT PROGRAMME 2003. **Global Project Task Force (GPTF)**, Fourth Meeting, Beijing, China, 28-30 October 2002: Proceedings. IMO London

HADDAD, M.A.; NAKATANI, K., 1996. Primeiro registro de *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) (Cnidaria, Hydroida) em águas continentais brasileiras. In **XIV Congresso Brasileiro de Zoologia**, SBZ, Porto Alegre, p.10.

HURLBERT, S.H.; VILLALOBOS-FIGUEROA, A. (Eds.) 1982. Aquatic biota of México, Central America and West Indies. **Aquatic Biotic SDSU Fondation**, San Diego. 529: 62-63

INGLIS, G. J., 2004 - Using Predictive Habitat Modeling to Design Surveillance for Marine Pests. **13th International Conference on Aquatic Invasive Species**, Ireland.

JORMALAINEN, V. *et al.*, 1994. Growth and reproduction of an estuarine population of the colonial hydroid *Cordylophora caspia* (Pallas) in the northern Baltic Sea. **Helgoländer Meeresuntersuchungen**, 48, 407-418.

KINNE, O., 1957. Ueber den Einfluss von Temperatur und Salzgehalt auf die Köpchenform des Brackwasserpolypen *Cordylophora*. **Verhandlungen der deutschen Zoologischen Gesellschaft** 20: 445-449.

LACTEC, 2004. Monitoramento da qualidade da água e do ar para renovação das licenças de operação das Usinas Geradoras da COPEL. **Relatório anual do automonitoramento trimestral da qualidade das águas superficiais do rio Iguaçu, na região da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias (PR)** - Ciclo 2004-2005.

LACTEC, 2008. Programa de Avaliação de Controle de Espécies Aquáticas Invasoras na Bacia do Rio Iguaçu. **Relatório final. Projeto P&D ANEEL. LACTEC/COPEL.**

MILLER, A. H., IGNACIO, A., 1994. An Approach to Identify Potential Zebra Mussel Colonization in Large Water Bodies Using Best Available Data and a Geographic Information System. **Proceedings of the Fourth International Zebra Mussel Conference**. Sea Grant Institute and Land Information and Computer Graphics Facility, University of Wisconsin-Madison.

MOORE, J., 1952. The Induction of Regeneration in the Hydroid *Cordylophora lacustris*. **J Exp. Biol.**, 29: 72-93

NEVES, C.S.; ROCHA, R.M. **Bioinvasão mediana por embarcações de recreio na Baía de Paranaguá, PR e suas implicações para a conservação**. UFPR, 2006. 74 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

NHEERL (National Health and Environmental Effects Laboratory), 2005. **Habitat Suitability Index (HSI)**. USA (United States of América). Disponível em: <http://www.epa.gov/aed/html/research/scallop/hsi.html>. Acesso em 5 de Junho de 2007.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto. Princípios e Aplicações**. Editora Edgard Blucher Ltda. APDR. 2ª edição. São José dos Campos. 1995.

PHILLIPS, S.; DARLAND, T.; SYTSMA, M., 2005. **Potencial Economic Impacts of Zebra Mussels on the Hydropower Facilities in the Columbia River Basin**.

Prepared for the Bonneville Power Administration by Pacific States Marine Fisheries Commission. Disponível em: <http://www.psmfc.org/>. Acesso em 14 de Maio de 2008.

SCHUCHERT, P., 2004. Revision of the European athecate hydroids and their medusae (Hydrozoa, Cnidaria): Families Oceanidae and Pachycordylidae. Muséum d'histoire naturelle. **Revue Suisse De Zoologie** 111 (2): 315-369.

SILVA, A.S. 1996. **The development of a GIS Based Site Suitability Index Model for Suspended Oyster Culture in Meares Island - Clayoquot Sound, BC.**

SILVEIRA, F.L. & BOSCOLO, H.K., 1996. Primeira ocorrência de *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) (Hydrozoa, Clavidae) para o Estado de São Paulo. In **Resumos XIV Congresso Brasileiro de Zoologia**. SBZ, Porto Alegre, p.10.

SMITH, D. G., WERLE, S. F.; KLEKOWSKI, E., 2002. The rapid colonization and emerging biology of *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) (Cnidaria: Clavidae) in the Connecticut River. **Journal of Freshwater Ecology** 17: 423-430.

TARBOTON, K. C. *et. al.*, 2004. Habitat Suitability Indices for Evaluating Water Management Alternatives. **Office of Modeling Technical Report. South Florida Water Management District**, West Palm Beach, Florida. December.

UNITED STATE FISH AND WILDLIFE SERVICES (USFWS), 1980. **Proposal to determine *Potentilla robbinsiana* (Robbins' Cinquefoil) to be an Endangered Species and to Determine its Critical Habitat. Federal Register**. 45, 58: 19004-19007.

VITOUSEK P.M.; MOONEY H.A.; LUBCHENCO, J.; MELILLO, J.M., 1997. Human domination of Earth's ecosystems. **Science** 277: 494-499.

ZAMPONI, M.O., 1991. Los Cnidária de la Republica Argentina. In: Castellanos, Z.A. (eds) **Fauna de agua dulce de la Republica Argentina**, V.7:20-21



## ANEXOS

## ANEXO A – TABELAS DOS TESTES DE TOLERÂNCIA: TEMPERATURA, PH E SALINIDADE.

Temperatura	Réplica 1 Nº Pólipos	Réplica 2 Nº Pólipos	Réplica 3 Nº Pólipos
8º	0	0	0
9º	0	0	0
10º	0	0	0
12º	2	2	1
14º	6	4	4
<b>16º</b>	10	8	6
<b>18º</b>	10	12	10
<b>20º</b>	12	14	10
<b>22º</b>	12	14	10
<b>23º</b>	14	12	10
<b>25º</b>	14	10	10
<b>27º</b>	10	10	8
29º	6	6	4
31º	6	6	4
33º	4	6	4
35º	4	4	2
35º	4	2	2
35º	2	1	1
<b>35º</b>	0	0	0

pH	Réplica 1 Nº Pólipos	Réplica 2 Nº Pólipos
<b>4</b>	0	0
4,5	1	3
5	5	7
<b>5,5</b>	13	9
<b>6</b>	13	11
<b>6,5</b>	13	11
<b>7</b>	14	12
<b>7,5</b>	14	10
<b>8</b>	13	10
8,5	8	8
9	4	5
9,5	2	1
9,8	0	0
<b>10</b>	0	0

Salinidade	Réplica 1 Nº Pólipos	Réplica 2 Nº Pólipos
<b>0 ups</b>	14	15
<b>5 ups</b>	13	15
<b>10 ups</b>	11	13
15 ups	8	7
20 ups	0	0
25 ups	0	0

B) FOTOS DOS EXPERIMENTOS: AQUÁRIOS DE TESTES.



C) FOTOS DOS EXPERIMENTOS: CRESCIMENTO DOS HIDROZOÁRIOS EM LÂMINAS (MOMENTO DA ALIMENTAÇÃO).

