



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM COMPUTACIONAL

**MODELANDO A VARIAÇÃO DA BIOMASSA DO  
FITOPLÂNCTON NO ESTUÁRIO DA LAGOA DOS PATOS  
ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO BASEADA EM MULTIAGENTES**

DIEGO DE ABREU PORCELLIS

Rio Grande

2016

DIEGO DE ABREU PORCELLIS

**MODELANDO A VARIAÇÃO DA BIOMASSA DO FITOPLÂNCTON NO ESTUÁRIO  
DA LAGOA DOS PATOS ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO BASEADA EM  
MULTIAGENTES**

Dissertação apresentada a Universidade Federal do Rio Grande, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional, para obtenção do título de mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Diana F. Adamatti

Co-Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Abreu

Rio Grande

2016

### Ficha catalográfica

P833m Porcellis, Diego de Abreu.  
Modelando a variação da biomassa do fitoplâncton no estuário da Lagoa dos Patos através da simulação baseada em multiagentes / Diego de Abreu Porcellis. – 2016.  
66 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional, Rio Grande/RS, 2016.

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Diana Francisca Adamatti.

Coorientadora: Dr. Paulo Cesar Abreu.

1. Fitoplâncton 2. Sistema baseado em agentes 3. Simulação  
I. Adamatti, Diana Francisca II. Abreu, Paulo Cesar II. Título.

CDU 004.891

DIEGO DE ABREU PORCELLIS

**MODELANDO A VARIAÇÃO DA BIOMASSA DO FITOPLÂNCTON NO ESTUÁRIO  
DA LAGOA DOS PATOS ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO BASEADA EM  
MULTIAGENTES**

Dissertação apresentada a Universidade Federal do Rio Grande, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional, para obtenção do título de mestre.

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Diana F. Adamatti  
Orientador

---

Profa. Dr. Paulo Cesar Oliveira Vergne de Abreu  
Co-orientador

---

Profa. Dra. Elisa Helena Fernandes  
FURG

---

Prof. Dr. Adriano VelasqueWerhli  
FURG

---

Prof. Dr. Jean Louis Valentin  
UFRJ

Rio Grande  
2016

Dedico esse trabalho a minha Esposa amada, Maria Eugênia Santos da Fontoura Porcellis, por estar sempre ao meu lado, mesmo na distância, me incentivando a realizá-lo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a meus pais, Jefferson Lima Porcellis e Cláudia de Abreu Porcellis por toda dedicação, incentivo, carinho e amor durante todos os anos da minha vida.

Agradeço a minha sogra Tereza Marli Santos da Fontoura por todo apoio, carinho, amor que dá a mim e minha esposa.

Agradeço ao meu avô, Jose Carlos Porcellis, por toda a dedicação carinho, amor e por sempre me ajudar nessa corrida diária.

Agradeço também a minha orientadora Professora Diana Adamatti que sempre foi uma pessoa humana e de boa convivência e com quem aprendi muito pessoal e profissionalmente.

Agradeço ao Professor Paulo Abreu, meu co-orientador, que foi peça chave na conclusão desse trabalho, sempre muito zeloso, interessado e prestativo mesmo com todos os percalços.

A realização desse trabalho não seria possível sem a colaboração dos meus colegas: Marcilene, Gleyber, Renata, Elenice, Iaslei e todos os outros que foram companheiros durante esse tempo de aflições e correrias.

Em especial, agradeço a minha esposa, Maria Eugênia Santos da Fontoura Porcellis, que sempre me ajudou, incentivou, me deu carinho, amor e é essa companheira para todas as horas e a quem eu dediquei esse trabalho.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. Objetivos.....	13
1.1.1. Objetivo Geral .....	13
1.1.2. Objetivos Específicos .....	13
1.2. Metodologia .....	13
1.3. Problema .....	15
1.4. Resolução.....	15
1.5. Calibragem .....	15
1.6. Organização do Texto .....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
2.1. Fitoplâncton .....	17
2.2. Inteligência Artificial .....	18
2.2.1. Agente.....	19
2.2.2. Sistemas Multiagentes .....	20
2.2.3. Modelo Baseado em Agentes .....	21
2.2.4. NetLogo.....	22
2.3. Trabalhos relacionados .....	25
3. MODELO PROPOSTO .....	32
3.1. Etapas de construção do Modelo .....	32
3.2. A simulação .....	35
3.2.1. Configurando o ambiente .....	40
3.3. Codificação.....	42
3.3.1. Função MoveAlga .....	43
3.3.2. Função DuplicaAlga .....	44
3.3.3. Função PerdeAlga.....	45
3.3.4. Função RetVol .....	46
4. RESULTADOS .....	47
4.1. Seleção dos dados reais .....	48
4.2. Seleção de dados simulados.....	52
4.3. Discussão dos dados.....	56
5. CONCLUSÃO .....	59

6. BIBLIOGRÁFIA.....	61
ANEXOS .....	63



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Metodologia adotada no trabalho.....	14
Figura 2 - Recorte de cadeia alimentar marinha .....	18
Figura 3 - Um Agente e seu Ambiente .....	20
Figura 4 - Tela do NetLogo.....	22
Figura 5 - Exemplo de Button, Switch e Slider. ....	23
Figura 6 - Exemplo de Monitor e Plot. ....	24
Figura 7 - Exemplo de código no NetLogo. ....	25
Figura 8 - Ação do vento sobre entrada do estuário .....	26
Figura 9 - Localização dos sensores RBR e fluorescência .....	30
Figura 10 - Modelo com tempo de duplicação e tempo de retenção.....	33
Figura 11 - Modelo com taxa de duplicação, perda e retirada. ....	34
Figura 12 - Interface final do modelo.....	35
Figura 13 - Fluxograma da função MoveAlga.....	36
Figura 14 - Funcionamento do DuplicAlga .....	37
Figura 15 – Funcionamento padrão do PerdAlga.....	38
Figura 16 - Fluxograma completo do PerdAlga .....	39
Figura 17 - Fluxograma da função RetVol.....	40
Figura 18 - Interface de configurações de parâmetros.....	41
Figura 19 - Função MoveAlga .....	43
Figura 20 - Função DuplicAlga .....	44
Figura 21 - Função PerdeAlga .....	46
Figura 22 - Função RetVol .....	47
Figura 23- Dados reais do período de 20/11/2011 à 25/11/2011. ....	49
Figura 24 - Dados reais do período de 26/10/2010 a 30/10/2010. ....	50
Figura 25 - Dados reais do período de 20/04/2010 à 27/04/2010. ....	50
Figura 26 - Dados reais do período de 24/02/2011 à 03/03/2011. ....	51
Figura 27 – Dados simulados para o período de 20/11/2011 à 25/11/2011.....	53
Figura 28 – Dados simulados para o período de 26/10/2010 a 30/10/2010.....	54
Figura 29– Dados simulados para o período de 20/04/2010 à 27/04/2010.....	55
Figura 30 - Clorofila A Real X Simulada do período de 20/11/2011 à 25/11/2011. ....	56
Figura 31 - Clorofila A Real X Simulada do período de 26/10/2010 a 30/10/2010. ....	57
Figura 32 - Clorofila A Real X Simulada do período de 20/04/2010 à 27/04/2010. ....	58

## RESUMO

O fitoplâncton é o principal produtor primário do ambiente marinho. Isso significa que ele é o responsável pela transformação da matéria inorgânica em orgânica através da fotossíntese. Fato esse de vital importância para a cadeia alimentar marinha, pois, essa matéria orgânica servirá de alimento para os mais variados organismos de modo que o seu acúmulo é importante para que haja uma maior safra pesqueira. Devido a isso, é importante conhecer os fatores que interferem no seu acúmulo nos ambientes onde há grandes regiões pesqueiras. Desta forma, este estudo busca demonstrar a importância do tempo de retenção, muitas vezes causados por questões hidrológicas, na variação de Biomassa de Fitoplâncton no Estuário da Lagoa dos Patos (ELP). Para isso, será criado um modelo que simule este ambiente, através de técnicas de sistemas baseados em agentes e essa implementação será realizada com a ferramenta NetLogo.

**Palavras-Chave:** Fitoplâncton, Sistemas Baseados em Agentes, Simulação.

## ABSTRACT

*Phytoplankton is the main primary producer of the marine environment. It means that it is responsible for the transformation of inorganic matter into organic through photosynthesis. This fact is the vital importance to the marine food chain, because this organic matter will be food for the various bodies so that its accumulation is important for there to be a larger fishing season. In this way, this study seeks to demonstrate the importance of retention time for the Phytoplankton biomass variation in the Patos Lagoon estuary. For that, we have created a model that simulates this environment through agent-based simulation and the implementation is done in NetLogo tool.*

**Keywords:** *Phytoplankton, Agent-Based Systems, Simulation.*

## 1. INTRODUÇÃO

Plâncton, do grego *plágchton*, que significa errante devido ao seu poder de locomoção ser nulo contra a corrente, e por isso acaba por ficar a deriva no ambiente aquático. O Plâncton pode ser dividido em duas categorias distintas que são: os animais (zooplâncton) e os vegetais (fitoplâncton) (Lalli e Timothy 1997). Dessa maneira, o foco deste estudo é determinar a variação da biomassa do fitoplâncton no Estuário da Lagoa dos Patos (ELP) em resposta a condições hidrológicas.

Os estuários são ambientes onde ocorre a mistura entre águas doces, oriundas do continente, e as águas marinhas (Pritchard, 1967). Os processos ecológicos dos estuários são similares à de outros ambientes aquáticos, como os mares, lagoas e rios. A Lagoa dos Patos, localizada no extremo Sul do Brasil, tem sua ligação com o mar ao sul, sendo esse considerado o Estuário da Lagoa dos Patos. Esse estuário se conecta ao mar por um canal de aproximadamente 800m de largura e possui uma área total de 900 km<sup>2</sup>, sendo 75% dessa área com profundidade de aproximadamente dois metros ou menos (Seeliger e Odebrecht, 1997).

O ELP está localizado próximo a um ponto anfidrômico<sup>1</sup>. Devido a isso, as variações de marés são de pequena amplitude (em média 40 cm), com efeito restrito a boca do estuário (Abreu et al., 2010). É importante salientar que nesta região existem duas grandes cidades (Pelotas e Rio Grande) e também é localizado o Porto de Rio Grande. Devido a isso, esse ambiente sofre impactos antrópicos, isso significa que esse *habitat* tem influência da ação humana, que resulta geralmente na eutrofização, que é um fenômeno causado pelo excesso de nutrientes que entra no ecossistema aquático.

Esses fatores por si só, são de grande importância para a vida das espécies localizadas no estuário, pois a baixa profundidade garante que a luz solar não seja um limitante para a atividade fotossintética dos produtores primários e a ação do homem garante o excesso de nutriente necessário ao desenvolvimento da vida nesse ambiente (Lalli e Timothy 1997). Devido a isso, os estudos têm buscado outros fatores que influenciam o acúmulo de biomassa de Fitoplâncton no ELP. Tais

---

<sup>1</sup> Ponto no qual a amplitude da maré é nula.

estudos estão voltados principalmente para fatores abióticos, como a ação do vento e da chuva, que atuam diretamente sobre a hidrologia deste ecossistema (Odebrecht, Abreu e Carstensen, 2015).

Fica, então, evidente a complexidade do ambiente estudado e a quantidade de fenômenos envolvidos para que se possa entender e prever a variação de biomassa de Fitoplâncton. Graças a essa grande complexidade, a utilização de modelos determinísticos pode não retratar o fenômeno com a flexibilidade desejada, ficando inviável o teste de novas hipóteses e fenômenos.

Os Sistemas Multiagentes (SMA) podem ser uma alternativa aos modelos determinísticos, pois com o aumento do poder computacional e sua alta flexibilidade pode-se representar os mais diversos comportamentos do sistema, utilizando-se de variáveis com relação próxima aos fenômenos observados em experimentos reais, tornando assim o modelo mais simples de ser aprimorado e retratar fenômenos emergentes (Tang, Parsons e Sklar, 2006).

O uso da Simulação Baseada em Multiagentes (*Multi-Agent-Based Simulation* (MABS)) tem se ampliado devido ao aumento do poder computacional, a simulação baseada nessa técnica se caracteriza pelo encapsulamento de comportamentos de cada agente e pela interação destes agentes em um ambiente preestabelecido. A utilização do MABS para simular ambientes complexos pode auxiliar a tomada de decisões quanto ao funcionamento do sistema a ser simulado.

A variação de biomassa de Fitoplâncton no ELP tem sido estudada há anos por vários pesquisadores (Odebrecht, Abreu e Carstensen, 2015) da mesma forma que tem sido estudado em tantos outros estuários pelo mundo (Søballe e Kimmel, 1987; Reynolds, 2000; Allan e Benke, 2005; Howarth et al. 2000; Jassby, 2008). Esses estudos, na sua grande maioria, se utilizam de técnicas de estatísticas para prever e determinar os fenômenos envolvidos no acúmulo de biomassa de Fitoplâncton.

Existe, ainda, um estudo de Lucas et al. (2009), que cria um modelo determinístico para estuários em geral. Esse modelo foi validado utilizando estudos estatísticos de estuários localizados no hemisfério norte; porém, esse modelo não representa resultados verdadeiros para o ELP. Dessa forma, o objetivo central deste trabalho concentra-se na criação de um modelo adequado para simular e prever o comportamento deste sistema complexo. Para criação desse modelo, foi utilizada a técnica de SMA. Esse modelo deverá auxiliar as pesquisas no que se refere ao

acúmulo de biomassa de Fitoplâncton no estuário, ora referido e devido à flexibilidade dos MABS pode ser adaptado para uso em outros estuários, para a criação desse modelo utiliza-se a ferramenta NetLogo.

## **1.1. Objetivos**

### *1.1.1. Objetivo Geral*

Criar um MABS, utilizando a ferramenta NetLogo, que simule o acúmulo de biomassa de fitoplâncton no ELP e que através dos dados gerados seja possível demonstrar a importância do tempo de retenção nesse acúmulo, de modo que demonstre que os resultados dos trabalhos desenvolvidos no Instituto de Oceanografia da Furg (Abreu et al 2010; Odebrecht, Abreu e Carstensen, 2015), são apropriados para esse ambiente diferente da abordagem dos estudos desenvolvidos por de Lucas et al (2009).

### *1.1.2. Objetivos Específicos*

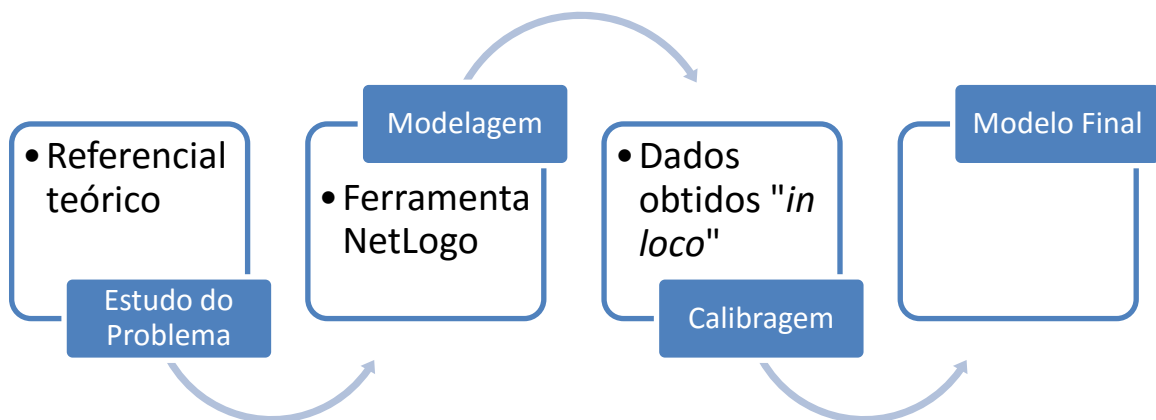
- Estudar a importância do acúmulo de biomassa do fitoplâncton para o ELP;
- Desenvolver um modelo que possa ser adaptável a outros ambientes aquáticos;
- Simular possíveis cenários para obter um estado otimizado da simulação;
- Analisar resultados obtidos com dados reais já existentes;

## **1.2. Metodologia**

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram seguidas quatro etapas como demonstrado na Figura 1. Na etapa de Estudo do Problema foi realizado um estudo de referencial teórico de modo que se obtivesse um conhecimento aprimorado sobre o problema a ser tratado. Durante essa etapa foi realizada, além de uma busca bibliográfica, consultas com pessoal técnico com conhecimento do problema a ser abordado. Essas consultas foram realizadas através de reuniões e troca de e-mail. Após a delimitação do problema e, concomitantemente, ao estudo do problema iniciaram-se as tarefas de Modelagem.

A etapa de Modelagem foi realizada por meio da ferramenta NetLogo. Durante essa etapa foi feita a criação dos agentes e também do ambiente onde eles seriam inseridos, as regras que eles deveriam seguir, além disso, também foi criada uma interface de configuração do modelo. Ainda durante a etapa de Modelagem, foram realizadas várias checagens de resultados por intermédio da criação de gráficos que foram analisados pelo pessoal técnico responsável e, através do feedback, foram feitas alterações no escopo do modelo.

Ao final, com o modelo concluído foi realizada a Calibração do modelo a partir de dados obtidos em pesquisas desenvolvidas no Instituto de Oceanografia da Furg (IO/Furg). Para isso foi criada uma métrica de modo que os dados obtidos no modelo tivessem uma representação adequada de acordo com as pesquisas *in loco*. Essa calibração é importante, pois demonstra que o modelo é válido para gerar e reproduzir dados necessários a pesquisas no estuário. Através dos dados gerados, pode-se realizar previsões em relação ao processo de criação de defitoplâncton neste estuário.



**Figura 1 - Metodologia adotada no trabalho.**

Fonte: Autor (2015).

### 1.3. Problema

Em estudos preliminares realizados no IO/FURG, foi constatada a importância do tempo de retenção, gerado pela ação do vento sul sobre a entrada do estuário, no acúmulo de biomassa de fitoplâncton no ELP (Abreu et al 2010; Odebrecht, Abreu e Carstensen, 2015). Já no estudo de Lucas et al (2009), é mencionado que esse tempo de retenção não tem influência sobre o acúmulo de biomassa de fitoplâncton. Porém, esse estudo foi desenvolvido em rios do hemisfério norte e em seu teor, é mencionado que o estudo pode ser aplicado a qualquer sistema aquático. Acredita-se que o estudo de Lucas et al (2009) não é adequado para prever o acúmulo de biomassa de fitoplâncton no ELP, e devido a isso, é necessário que sejam realizados estudos mais conclusivos quanto a esse tempo de retenção. Porém, a obtenção de dados *in loco* tem um custo alto em relação a tempo e armazenamento de dados. Além disso, a quantidade de dados gerada torna esses estudos complexos.

### 1.4. Resolução

Para a resolução desse problema, foi criado um modelo que demonstra a ação gerada pelo tempo de retenção sobre o ELP. A finalidade da criação desse modelo foi de provar que os estudos de Lucas et al (2009) não são adequados ao ELP. Outro fator importante na criação desse modelo é que possa ser reduzido o custo quanto a obtenção de dados para a realização de mais pesquisas. Esse modelo foi criado utilizando ferramentas de modelagem baseada em agentes, mais especificamente, a ferramenta NetLogo. Por intermédio dessa ferramenta, pode-se simular situações reais e criar gráficos de comportamento que podem ser comparados com os resultados obtidos através de pesquisas *in loco*.

### 1.5. Calibragem

O modelo criado foi calibrado com dados obtidos em estudos que são realizados no estuário pelo IO/FURG. Os mesmos dados foram utilizados para demonstrar a importância do tempo de retenção para o acúmulo de biomassa de fitoplâncton no estudo de Odebrecht, Abreu e Carstensen (2015). Nesse estudo, os dados de um período de quase dois anos (março de 2010 - dezembro de 2011) foram analisados.



## **1.6. Organização do Texto**

Este trabalho está organizado da seguinte forma: o capítulo 2 assuntos relacionados ao referencial teórico como: Fitoplâncton, Inteligência Artificial, Sistemas Multiagentes e NetLogo; o capítulo 3 aborda sobre o modelo proposto expondo o problema que se busca resolver, a metodologia, a calibração do modelo, a resolução e os primeiros resultados encontrado. O capítulo 4 é aborda os resultados encontrados em relação ao modelo, nesse capítulo é demonstrado os resultados da simulação e confrontado com resultados reais extraído de pesquisas realizadas in loco no ELP. O capítulo 5 é realizada a conclusão do trabalho.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

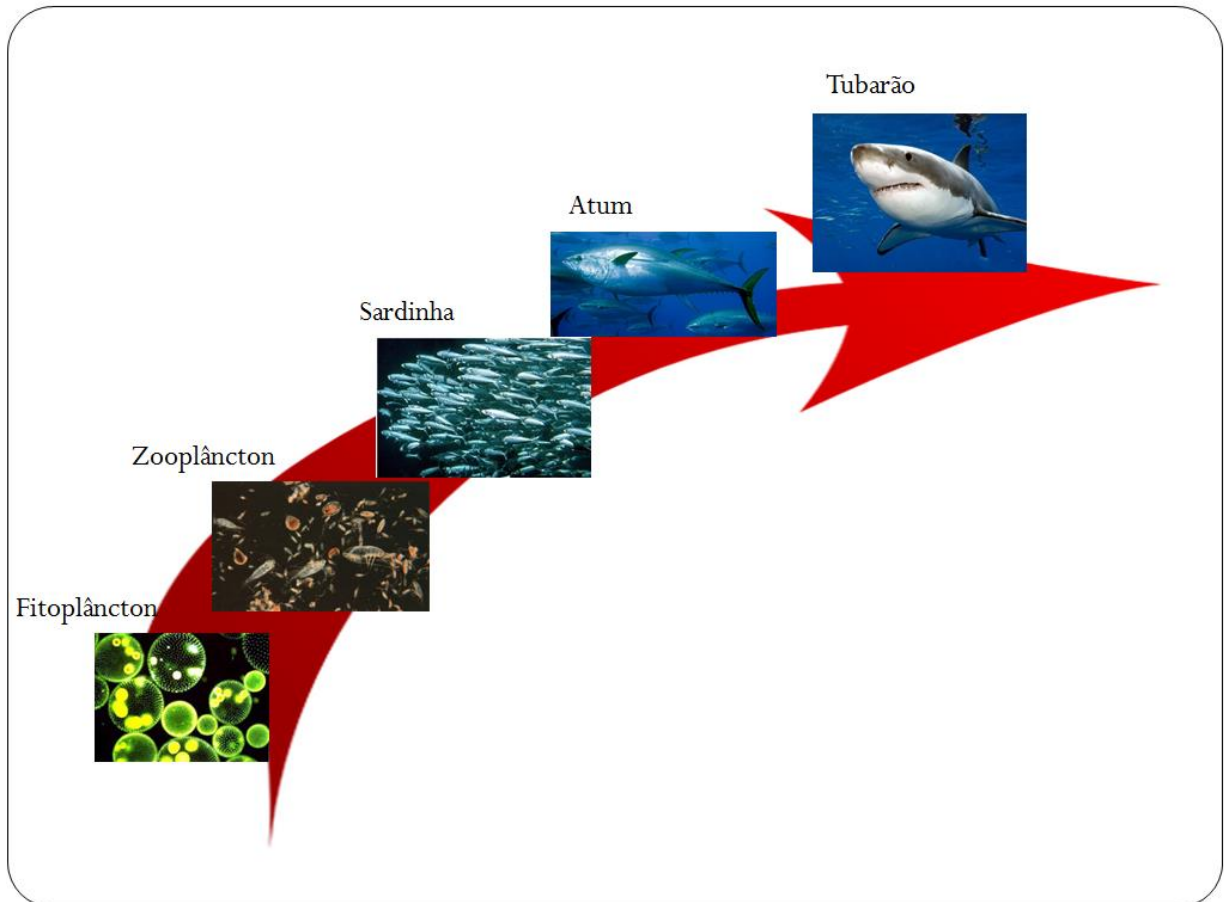
### 2.1. Fitoplâncton

O plâncton que tem sua nomenclatura derivada da palavra grega *plágchton*, que significa errante. Essa é uma designação aplicada a todos os organismos marinhos que têm locomoção limitada com relação a corrente e acaba por ficar a deriva no ambiente. O Plâncton pode ser dividido em zooplâncton, que se refere aos pequenos animais, e fitoplâncton, que designa todos os organismos planctônicos clorofilados (Lalli e Timothy 1997).

O fitoplâncton é o principal produtor primário do ambiente marinho. Os produtores primários são responsáveis por transformar substâncias inorgânicas em matéria orgânica por meio da fotossíntese (Figura 2). Esse processo é de vital importância para a cadeia alimentar dos ambientes aquáticos, pois o fitoplâncton fornece a matéria e energia que sustenta o crescimento de peixes, crustáceos e moluscos nos ecossistemas marinhos (Lalli e Timothy 1997).

O crescimento rápido de uma determinada espécie de fitoplâncton é chamado de floração, ou *bloom*. Estudos em estuários, como Howarth et al. (2000) e Jassby (2008), têm o foco de conhecer os fatores que controlam esses acúmulos de biomassa de fitoplâncton. Tais trabalhos mostraram a importância da luz, nutrientes e predação para a produção do fitoplâncton. Além desses trabalhos, o tempo de transporte, conhecido também como tempo de retenção ou de circulação é, em alguns estudos, considerado o principal fator de influência na variabilidade de biomassa de fitoplâncton, considerando os estudos de longo e curto prazo (Abreu et al 2010; Howarth et al. 2000).

No entanto, Lucas et al. (2009) menciona que o tempo de retenção tem pouca influência na variabilidade de fitoplâncton, mas o que realmente afeta essa variabilidade são as taxas de duplicação e de perda de fitoplâncton. Já Abreu et al. (2010) e Odebrecht et al. (2015), em estudos de curto e longo prazo desenvolvido no estuário da Lagoa dos Patos, evidenciam a importância do tempo de retenção na variabilidade de fitoplâncton neste ambiente.



**Figura 2 - Recorte de cadeia alimentar marinha**

Fonte: Autor (2015).

Dessa forma, para investigar e esclarecer a influência do tempo de transporte na variabilidade de fitoplâncton no ELP é necessário um estudo com grande quantidade de dados e amostras. Entretanto, o custo, tanto em termos de tempo quanto em termos financeiros, acaba se tornando alto. Devido a isso, foi proposto que seja criado um modelo computacional que simule esse ambiente e que possa realizar previsões precisas quanto ao acúmulo de biomassa de fitoplâncton de modo que seja possível alterar condições iniciais e obter resultados precisos e rápidos.

## 2.2. Inteligência Artificial

Na década de 50 surgiram os primeiros estudos sobre Inteligência Artificial (IA), nesses estudos foram propostos que a IA poderia substituir a Inteligência Humana. Desde então, a IA busca desenvolver ferramentas para auxiliar humanos a realizar tarefas. A realização de tarefas antes executadas por humanos é o principal

objetivo da IA, apesar do receio humano quanto à segurança desses sistemas quando não controlados pelo homem (Adamatti, 2003).

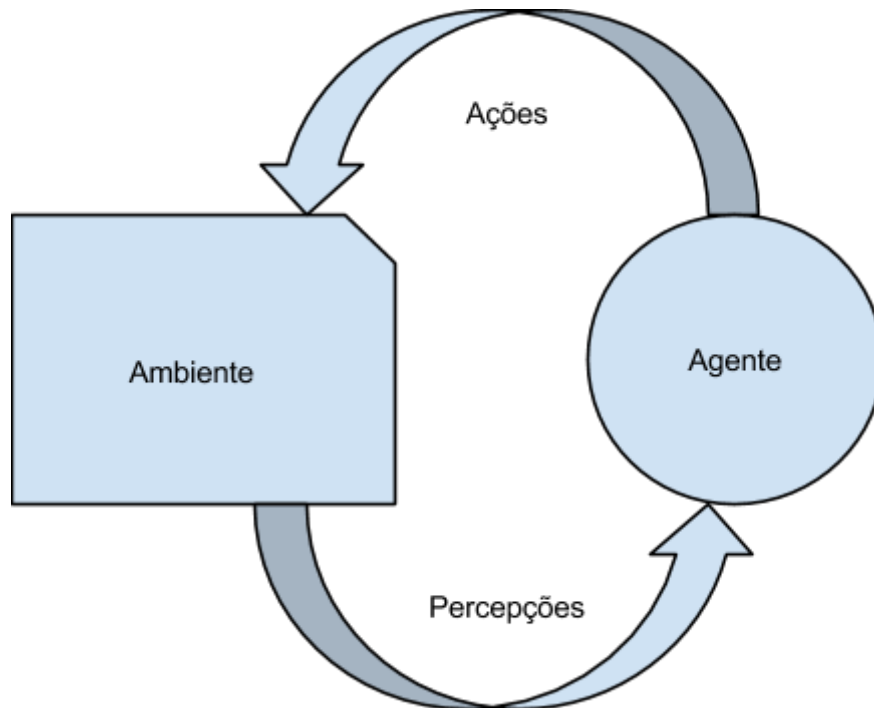
Os sistemas computacionais, geralmente, são complexos. Então, quando se fala de sistemas inteligentes e que substituam o homem na realização de alguma tarefa, verifica-se o aprofundamento que deve ser dado aos estudos do problema a ser resolvido, tornando assim esses sistemas, cada vez mais, complexos. Devido a isso, surgiu a ideia de criar uma entidade heterogênea e autônoma que possa ser inserida ou removida funcionalidades facilmente, dessa maneira surge o Agente.

### 2.2.1. *Agente*

Wooldridge (2002, p. 15) define o termo agente como: “um agente é um sistema computacional que está situado em algum ambiente e que é capaz de executar ações de maneira autônoma neste ambiente com o propósito de atingir seus objetivos”. Também são encontradas muitas outras definições, como a de Weiss (2000, p. 12):

agentes são aplicações que podem operar com robustez, em ambientes que se modificam rapidamente e que necessitam de respostas precisas e rápidas a eventos que podem ser inesperados. Eles conseguem reagir rapidamente e possuem características que permitem atuar em situações não programadas, além de possuir capacidade para interagir com outros, sejam humanos ou agentes. O comportamento flexível e racional é alcançado através de processos-chave, resolução de problemas, planejamento, tomada de decisão e aprendizado.

Por intermédio desses conceitos, consegue-se verificar que cada agente é um programa computacional e nele podem ser inseridos ou removidos funcionalidades de maneira prática e acessível. Na Figura 2, tem-se uma percepção do funcionamento de um agente em seu ambiente. Ele recebe informações sobre o ambiente através de algum tipo de sensor e produz ações que podem modificar o ambiente ou a si próprio.



**Figura 3 - Um Agente e seu Ambiente**

Fonte: Adaptado de (Russell e Norvig, 1995).

Por meio dessa percepção, verifica-se que esse agente pode interagir com o ambiente, modificando-o. E, através dessa modificação influenciar agentes diversos que também recebam informações desse mesmo ambiente. Além disso, o Agente pode realizar a ação diretamente em outro Agente, por intermédio de percepções recebidas desse Agente como a proximidade.

Quando se trata do compartilhamento de informações entre Agentes e influência de ações de um Agente em outro Agente diverso, a área de pesquisa a ser estudada chama-se Sistemas Multiagentes.

### *2.2.2. Sistemas Multiagentes*

Os Sistemas Multiagentes (SMA) são uma linha de pesquisa existente na IAD (Inteligência Artificial Distribuída), e que têm como proposta estudar o comportamento de Agentes autônomos e sua evolução em um ambiente (Resende, 2006). Foi escolhida essa metodologia, pois, por intermédio dela, pode-se observar o comportamento inteligente da interação de seus elementos em um ambiente natural e, por meio disso, criar um modelo (Johnson, 2001).

O objetivo dos SMA é estudar o comportamento de Agentes autônomos em um ambiente. Tais Agentes trabalham em conjunto, cooperando ou competindo (Rezende, 2006). Esses Agentes são aqueles independentes da existência de outros, porém, podem sofrer influências em seu comportamento ou estado devido a outros Agentes (Hubner, 2003).

### 2.2.3. *Modelo Baseado em Agentes*

A Modelagem Baseada em Agentes (MBA) opõe-se às abordagens tradicionais de simulação. Essas geralmente são realizadas por intermédio de equações, sendo construídas a partir de conjuntos de equações diferenciais inter-relacionadas (Tang, Parsons e Sklar 2006). Há um estímulo ao uso de MBA, como técnica de modelagem de sistemas sociais, devido ao crescimento do poder dos sistemas computacionais. Sendo assim, cada vez mais, simulações que anteriormente eram desenvolvidas com sistemas de equações, estão sendo modeladas por meio dessa técnica (Rahmandad e Sterman, 2004).

A partir do MBA pode-se criar um comportamento difuso para cada Agente no sistema (Tang, Parsons e Sklar 2006). E, assim, é possível visualizar os Agentes individualmente; as interações entre eles; e, também, simular interações entre Agentes e o ambiente no qual estão inseridos. Devido a isso, o MBA é considerado mais flexível que modelos baseados em equações (MBE) (Tang, Parsons e Sklar, 2006).

A escolha pela MBA é feita por, principalmente, quatro fatores, que são (Tang, Parsons e Sklar, 2006):

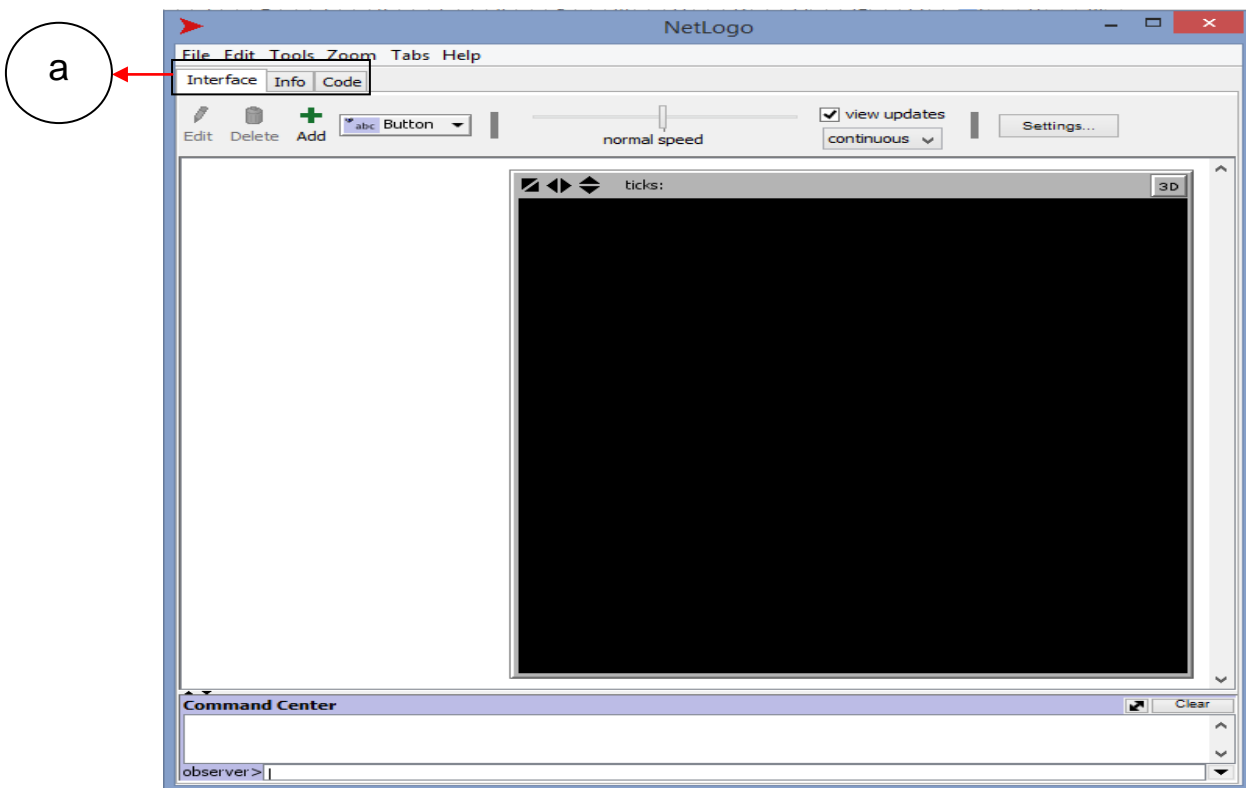
- Maneira natural de descrever sistemas e interação entre entidades;
- Flexibilidade;
- Facilidade de capturar fenômenos emergentes;
- Fornecem maior nível de detalhes úteis em relação à simulação.

No entanto, talvez as vantagens mais interessantes do uso dessa técnica é sua simplicidade na criação e facilidade de entendimento do modelo criado. Portanto, é mais acessível para realizar modificações e ampliações, tornando assim o modelo, cada vez mais, realista e detalhista (Tang, Parsons e Sklar, 2006).

#### 2.2.4. NetLogo

A ferramenta que foi utilizada na criação do modelo de acúmulo de fitoplâncton no ELP foi o NetLogo (Figura 4). Essa ferramenta possui a linguagem de programação e o ambiente de desenvolvimento multiagente incorporado. Tal ferramenta é indicada para simulações de fenômenos naturais e sociais e, suas principais vantagens, são códigos simples e legíveis e uma interface intuitiva (Wilensky, 2013).

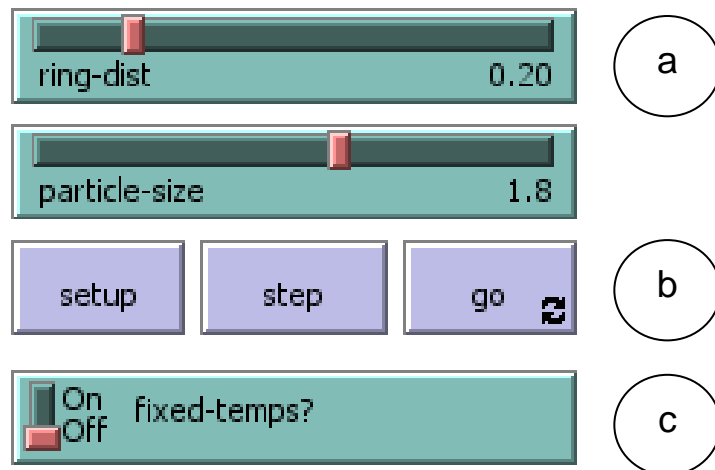
A linguagem de programação do NetLogo é voltada para o trabalho com sistemas multiagentes e a sua interface gráfica é bastante amigável (Werlang, 2013). Na interface gráfica podem-se visualizar os Agentes interagindo com outros Agentes e, também, com o ambiente. Além disso, ainda é possível modificar a simulação a qualquer momento por meio de barras deslizáveis e botões de ações. Além disso, é permitido acompanhar os gráficos em tempo real.



**Figura 4 - Tela do NetLogo**

Fonte: Autor (2015).

O ambiente do NetLogo é dividido em três abas principais (Figura 4a): Interface, Info e Code. Cada uma dessas abas é responsável por um objetivo dentro da simulação. A aba encarregada pela criação da parte gráfica é a *Interface*, nessa aba foi visualizada a simulação e, também, foram inseridos os controles da simulação.



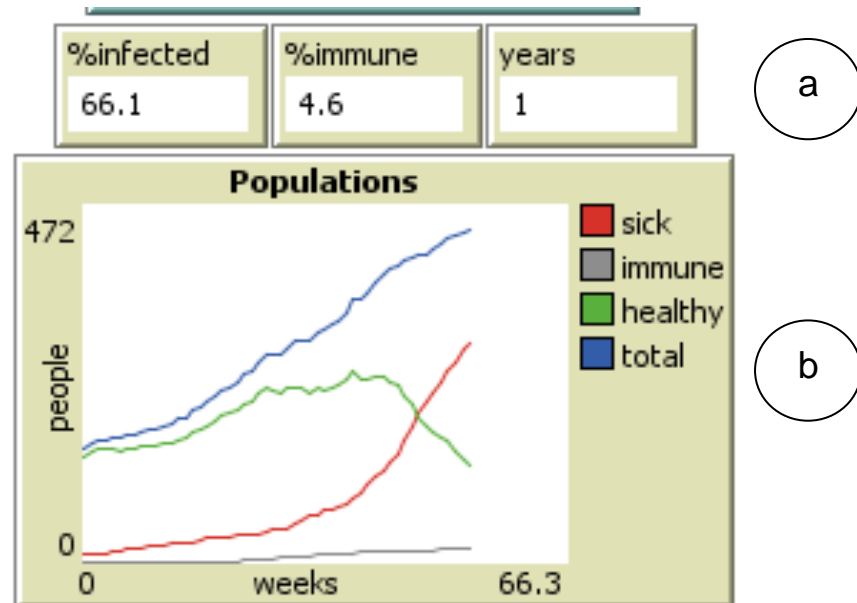
**Figura 5 - Exemplo de Button, Switch e Slider.**

Fonte: Autor (2015).

Na aba *Interface* pode ser inserida uma porção de controles de simulação, como:

- (I) Button: (Figura 5b) responsável pelas ações dentro de nossa simulação;
- (II) Slider: (Figura 5a) usado para definir valores de parâmetros e variáveis do sistema são usadas para modificar valores de variáveis globais;
- (III) Switch: (Figura 5c) são chaves de liga e desliga, controlam variáveis globais com valor de verdadeiro ou falso;
- (IV) Monitor: (Figura 6a) usado para monitorar valores textualmente em tempo de simulação podem ser valores de variáveis;
- (V) Plot: (Figura 6b) usado para visualizar o estado de uma variável ao longo do tempo gerando gráficos de evolução.





**Figura 6 - Exemplo de Monitor e Plot.**

Fonte: Autor (2015).

Além da criação da *interface*, deve-se criar o código que controlará toda a simulação. Essa etapa é realizada por meio de linguagem de programação. Os códigos são determinantes, pois eles que ditam como cada agente irá se comportar no ambiente. Essa etapa é realizada na aba *Code* (Figura 7).

```

Virus - NetLogo
File Edit Tools Zoom Tabs Help
Interface Info Code
Find... Check Procedures Indent automatically

|turtles-own
[ sick?      ;; if true, the turtle is infectious
  immune?    ;; if true, the turtle can't be infected
  sick-count ;; how long the turtle has been infectious
  age ]      ;; how many weeks old the turtle is

globals
[
  %infected      ;; what % of the population is infectious
  %immune        ;; what % of the population is immune
  lifespan       ;; the average lifespan of a turtle
  average-offspring ;; the average number of offspring a turtle could have
  carrying-capacity ;; the number of turtles that can be in the world at one time
]

;; The setup is divided into three subroutines
to setup
  clear-all
  setup-constants
  setup-turtles
  update-global-variables
  reset-ticks
end

;; We create a variable number of turtles of which 10 are infectious,
;; and distribute them randomly
to setup-turtles
  set-default-shape turtles "person"
  crt people
  [ setxy random-xcor random-ycor
    set age random lifespan
    set sick-count 0
    set immune? false
    set size 1.5 ;; easier to see
    get-healthy ]
  ask n-of 10 turtles
  [ get-sick ]
end

to get-sick ;; turtle procedure
  set sick? true
  set immune? false
  set color red
end

to get-healthy ;; turtle procedure

```

**Figura 7 - Exemplo de código no NetLogo.**

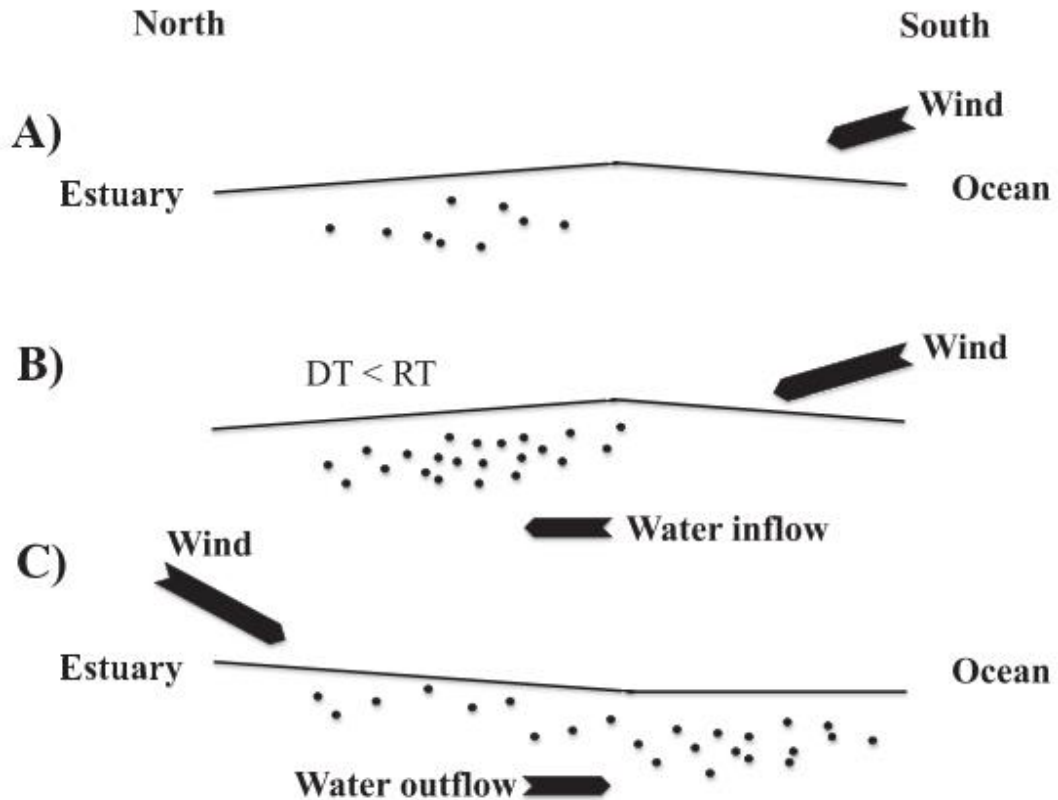
Fonte: Autor (2015).

A documentação do modelo que está sendo criado é feita na aba *Info*. Nessa aba, pode-se inserir informações sobre funções, parâmetros, modo de utilização e outras pertinentes ao modelo criado.

### 2.3. Trabalhos relacionados

Os estudos que estão balizando essa dissertação são do Instituto de Oceanografia da FURG (IO/FURG), os quais retratam a importância do tempo de retenção gerado pela ação do vento sul sobre a entrada do estuário, no acúmulo de biomassa de fitoplânctona curto prazo no ELP. Esses estudos mencionam que a ação do vento sul sobre a entrada do estuário bloqueia a saída dos fitoplânctons para

o mar, fazendo com que esses fitoplânctons se reproduzam no estuário e, dessa maneira, são gerados os *blooms* de fitoplânctons (Figura 8) (Abreu et al 2010; Odebrecht, et al., 2015).



**Figura 8 - Ação do vento sobre entrada do estuário**

Fonte: (ODEBRECHT, ABREU, CARSTENSEN, 2015)

Um contraponto aos estudos realizados no IO/FURG são as pesquisas realizadas por Lucas et al. (2009). Nessa pesquisa é apresentada um modelo conceitual simples para modelar o comportamento de um sistema aquático. Esse modelo conta como variáveis a perda, o crescimento e o tempo de transporte. Também é mencionado que são feitas varias simplificações e que, mesmo assim, ele oferece explicações para diversas relações entre o acúmulo de biomassa de fitoplâncton e o tempo de transporte.

O método utilizado por Lucas et al. (2009) inicia pela definição de uma equação de distribuição de biomassa de algas para um sistema de estado estacionário<sup>2</sup>, utilizando-se apenas das variáveis de perda, crescimento e pela distância a jusante da entrada. Tal equação é apresentada em (1).

<sup>2</sup> Sistema que não varia com o tempo (Randall, 2009).

$$B(x) = B_{out} = B_{in} \exp\left(\frac{\mu_{growth} - \mu_{loss}}{u} x\right) \quad (1)$$

Nessa equação, segundo Lucas et al. (2009)

B é a concentração de biomassa algal,  $x$  é a distância a jusante a partir da entrada,  $B_{in}$  é a concentração de biomassa algal que entra no sistema em um limite a montante definido ( $x=0$ ),  $\mu_{grow}$  representa a taxa de crescimento específico das algas,  $\mu_{loss}$  é a soma das taxas de perdas específicas devido a fatores biológicos (por exemplo, pastejo pelágicos e bentônicos, senescência, doença) e os processos físicos (por exemplo, a sedimentação) e  $u$  é a característica de velocidade ao longo da direção de fluxo primário em dimensões de comprimento/hora.<sup>3</sup>

Essa equação se baseia em conceitos de uniformidade de propriedades em toda a seção transversal do fluxo, sem mistura longitudinal. Entretanto, as concentrações podem variar na direção da corrente. Também foi assumido que B não varia com o tempo, caracterizando assim o “estado estacionário”. Ainda, foi definido que os valores dos parâmetros de perda e crescimento devem ser constantes, bem como a geometria e velocidade. Pressupostos que podem ser satisfeitos em ambientes rasos, estreitos e de fluxo rápido (Lucas et al, 2009).

A partir da Eq. 1, foram feitas conversões das taxas de processos físicos e biológicos para escalas de tempo. Criando assim, uma equação com três escalas chave que são:  $\tau_{tran}$  (a escala de tempo para o transporte de água e algas através do sistema representado pelo tempo que uma parcela de água viaja em uma região definida),  $\tau_{growth}$  (a escala de tempo para o crescimento de algas), e  $\tau_{loss}$  (a escala de tempo para as perdas de algas são contabilizadas os pastejos em geral, sedimentação, e outros fatores). Substituindo essas taxas pela escala de tempo foi gerada a equação (2) (Lucas et al, 2009).

<sup>3</sup> Tradução feita por esse autor para o trecho: “B is algal biomass concentration (e.g., as mg chlorophyll a [Chl a] L<sup>-1</sup> or cells L<sup>-1</sup>), x is distance downstream from the inlet, B<sub>in</sub> is algal biomass concentration entering the system at a defined upstream boundary (x = 0),  $\mu_{growth}$  (d<sup>-1</sup>) is the algal specific growth rate,  $\mu_{loss}$  (d<sup>-1</sup>) is the sum of specific loss rates due to biological (e.g., pelagic and benthic grazing, senescence, disease) and physical processes (e.g., sedimentation), and u is the characteristic velocity along the primary flow direction in dimensions of length/time.”

$$B_{out} = B_{in} \exp\left(\frac{\tau_{tran}}{\tau_{growth}} - \frac{\tau_{tran}}{\tau_{loss}}\right) \quad (2)$$

Conforme Lucas et al. (2009):

$\tau_{trans} = x / u$  (ou equivalentemente volume / fluxo) pode representar bem o tempo de trânsito para sistemas fortemente advectivos com fluxo unidirecional (por exemplo, rios), mas pode não caracterizar com precisão o tempo de trânsito nos outros (por exemplo, na horizontal não homogênea, geometricamente complexo, marés fortes, ou dispersiva) sistemas que alteram substancialmente os pressupostos do modelo de fluxo de pistão.<sup>4</sup>

De acordo com Munson et al. *Apud* Lucas et al. (2009): “Combinando muitas variáveis em razões adimensionais pode ajudar a expressar uma relação matemática em termos de poucas variáveis”<sup>5</sup>. Por intermédio disso, foram criadas as relações adimensionais:  $T_{loss}^* = T_{loss} : T_{growth}$  (o resultado da relação é menor que um quando o tempo para as perdas é mais curto do que o tempo para o crescimento e maior que um quando o tempo para as perdas é maior do que o tempo para o crescimento) e  $T_{tran}^* = T_{tran} : T_{growth}$  (o resultado é menor que um, quando o tempo de transporte através do sistema é mais rápido do que o crescimento e maior do que um quando o crescimento é mais rápido do que o tempo de transporte). Dessa forma, foi proposta a equação (3) (Lucas et al., 2009).

$$B_{out}^* = \frac{B_{out}}{B_{in}} = \exp\left(\left[1 - \frac{1}{T_{loss}^*}\right] T_{tran}^*\right) \quad (3)$$

Conforme Lucas et al. (2009),  $B_{out}^*$  é o valor de um número não dimensional que representa a concentração de biomassa algal na saída (local  $x$ ) normalizado pela concentração de biomassa na entrada ( $x = 0$ ). Num estudo mais minucioso da

<sup>4</sup> Tradução deste autor para o trecho:  $t_{tran} = x/u$  (or equivalently volume/flow) may represent well the time of transit for strongly advective systems with unidirectional flow (e.g., rivers), but may not accurately characterize transit time in other (e.g., horizontally inhomogeneous, geometrically complex, strongly tidal, or dispersive) systems that deviate substantially from the plug flow model assumptions.

<sup>5</sup> Tradução deste autor para o trecho: Combining many variables into dimensionless ratios can help one express a mathematical relationship in terms of fewer variables (Munson et al. 1990).

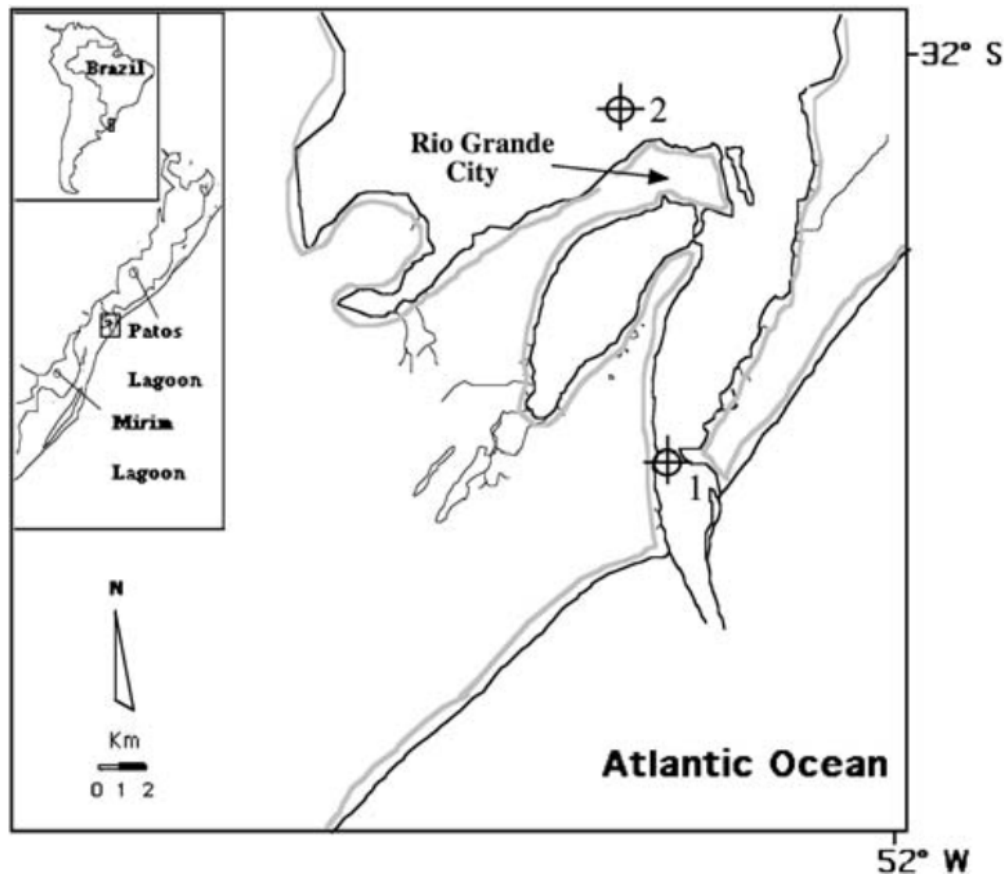
Eq. 3, pode-se verificar que se  $\tau_{loss}^* = 1$  fará com que a expressão que está localizada entre colchetes seja 0, fazendo  $B_{out}^* = 1$ , independentemente do valor de  $\tau_{tran}^*$ . Caso o crescimento e a perda sejam iguais, o tempo não afetará a concentração de biomassa algal (Lucas et al, 2009).

Se o  $\tau_{loss}^* > 1$ , significa que as algas crescem mais rápido do que se perdem. Então, a relação dentro dos colchetes será positiva, tornando assim  $B_{out}^* > 1$ . Assim, quanto maior for o  $\tau_{tran}^*$  maior será  $B_{out}^*$ . Pode-se observar que se o crescimento é mais rápido que a perda e for aumentado o tempo de transporte, irá ampliar o  $B_{out}^*$ , surgindo uma relação positiva de fitoplâncton/tempo de transporte (Lucas et al, 2009).

Em outro caso,  $\tau_{loss}^* < 1$ , as perdas acontecem mais frequentemente que os ganhos, fazendo com que a expressão dentro dos colchetes seja um número negativo. Então,  $B_{out}^*$  será menor que 1. Dessa forma, quanto maior for o  $\tau_{tran}^*$  menor será  $B_{out}^*$ . Desse modo, se as perdas são mais rápidas do que o crescimento, então, um aumento do tempo de transporte irá amplificar perda de biomassa líquida. Esse caso representa a relação de fitoplâncton/tempo de transporte (Lucas et al., 2009).

Numa última observação sobre a Eq. 3 é verificada quando  $\tau_{tran}^*$  se aproxima de 0, isso acontece quando a velocidade de transporte é rápida, fazendo com que o resultado da expressão seja 0 e  $B_{out}^*$  seja 1. Isso significa que se há uma alta velocidade não haverá tempo hábil para a biomassa algal ser modificada (Lucas et al 2009).

Nos estudos desenvolvidos no IO/Furg foram obtidos dados de salinidade e temperatura por intermédio de um sensor submersível (RBR) de monitoramento contínuo que foi implantado a 5m de profundidade na principal entrada do cais da Marinha do Brasil, no qual o canal é mais estreito (800 m), como é visto na Figura 9. Essa escolha ocorreu por ser um ambiente misto. Entretanto, podem ocorrer picnoclina em curtos períodos na entrada de água salgada do mar em forma de cunha e alcançar o sensor. Ao sensor RBR foi conectado também um sensor de fluorescência que captura as informações de minuto a minuto. Semanalmente, os sensores eram trazidos a superfície para registrar os dados em um computador e mensalmente ele passava por manutenção (tinta anticorrosiva, remoção de cracas, etc) (Abreu et al 2010; Odebrecht et al., 2015).



**Figura 9 - Localização dos sensores RBR e fluorescência**

Fonte: (Abreu et al 2010; Odebrecht et al., 2015)

Na análise dos dados foram identificados padrões que demonstram a importância do tempo de retenção para o acúmulo de biomassa em curto prazo (Abreu et al. 2010; Odebrecht et al., 2015), diferente dos estudos realizados por Lucas et al. (2009), que utilizam apenas o tempo de transporte como um valor constante. Esses estudos demonstram, por meio de dados, que existem períodos de tempo que consta ação do vento sobre a entrada do estuário fazendo com que o fluxo de água fique represado, sendo esse o fator principal do acúmulo de biomassa (Abreu et al 2010; Odebrecht et al., 2015).

É importante salientar que nesse estuário as perdas são irrelevantes (Abreu et al 2010; Odebrecht, et al., 2015). Sendo assim, há sempre um crescimento de fitoplâncton, que na não existência do represamento, acaba saindo do estuário. Se existe a condição de represamento, pode ocorrer o acúmulo de biomassa de fitoplâncton, tornando assim, de acordo com esses estudos, o tempo de retenção o

principal fator controlador de acúmulo de biomassa nesse estuário (Abreu et al 2010; Odebrecht, et al. 2015).

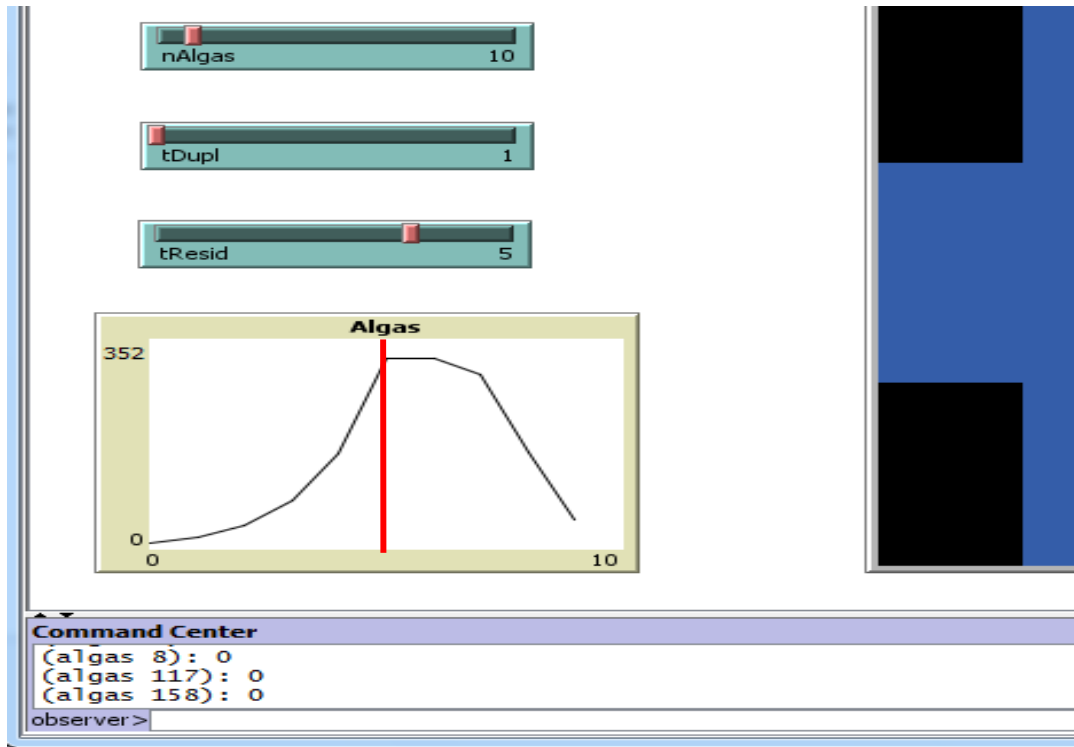


### **3. MODELO PROPOSTO**

O modelo proposto neste trabalho visa, por intermédio de um modelo computacional demonstrar, a importância na relação tempo de retenção versus o acúmulo de fitoplâncton, bem como demonstrar, por meio de parâmetros, a relação de cada um com o crescimento ou decréscimo de fitoplâncton no ELP. Outro objetivo do modelo ora mencionado é que seja um modelo bastante genérico, e que possa ser utilizado em outros ambientes.

#### **3.1. Etapas de construção do Modelo**

Durante a fase de modelagem foi construído um primeiro modelo por meio do qual, foi possível verificar a importância da relação do tempo de retenção/acúmulo de biomassa de fitoplâncton. Este modelo (Figura 10), contava com parâmetros de entrada o número de algas iniciais, o tempo de duplicação dos fitoplânctons (tempo em dias que demora para uma alga transformar-se em duas) e o tempo de retenção (tempo em dias que a abertura do estuário fica bloqueada devido à ação do vento) desses no estuário. É importante ressaltar que nesse primeiro modelo não foram consideradas as perdas naturais, pois essas perdas são irrelevantes nesse estuário, de acordo com Odebrecht, et al. (2015). Outro fator relevante é que esse modelo não passou por um processo de calibragem e que os parâmetros de entrada são tipos de dados fictícios. Mesmo assim, é possível verificar, no gráfico gerado na interface do NetLogo (Figura 10), um comportamento de crescimento da biomassa enquanto existe uma ação de retenção na entrada do estuário (o tempo de retenção ocorre até a barra vermelha). E quando o sistema é liberado, acontece a “lavagem”, baixando quase que instantaneamente a quantidade de biomassa de fitoplâncton. O uso desse primeiro modelo, mesmo com dados fictícios e não validados, permitiu, por intermédio de suas evidências, o prosseguimento do trabalho utilizando a mesma temática.



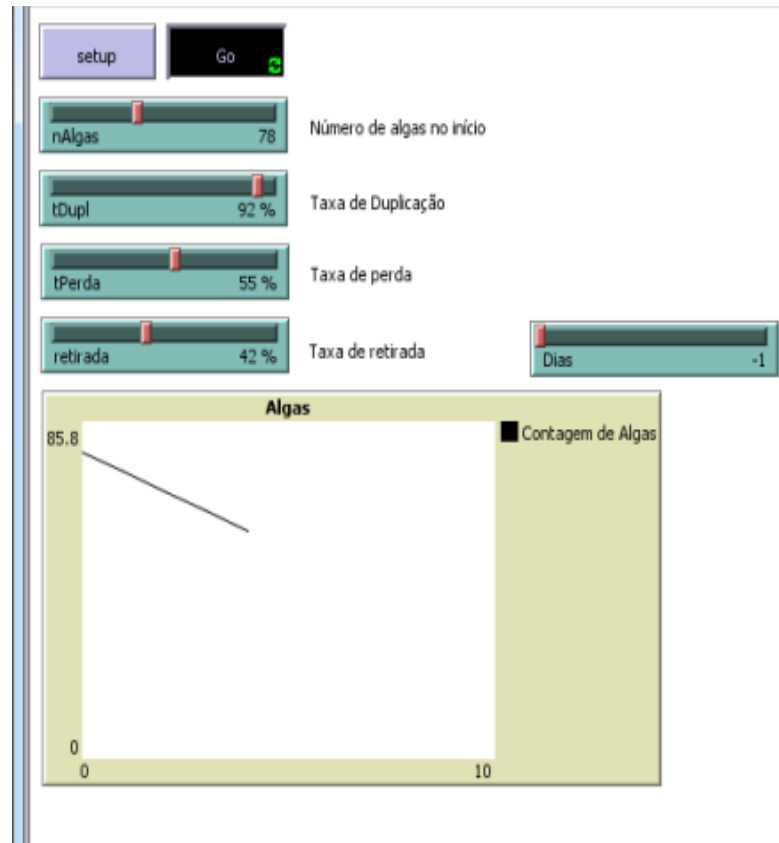
**Figura 10 - Modelo com tempo de duplicação e tempo de retenção.**

Fonte: Autor (2015).

Num segundo momento, pensando na generalização do modelo, foi ampliado o modelo anterior de modo que fosse incluídas informações sobre perdas de fitoplâncton o que gerou o modelo da Figura 11. Nesse novo modelo, foram utilizados como dados de entrada o número inicial de algas, a taxa de duplicação (velocidade de duplicação das algas a cada *tick*<sup>6</sup>), a taxa e perda (aqui é considerado as perdas naturais, por exemplo: pastejo pelágicos e bentônicos, senescência, doenças, sedimentação entre outros, em relação a cada *tick*), a taxa de retirada (velocidade de saída de algas do estuário<sup>7</sup> a cada *tick*) e o número de dias de simulação (quantidade de ticks de simulação). Esse modelo deu origem ao modelo final, pois era mais generalista, aproximava-se em termos de resultados dos gerados *in loco* e é alimentado com parâmetros pertinentes a pesquisa realizada.

<sup>6</sup> É considerado o período de tempo dentro de uma simulação NetLogo.

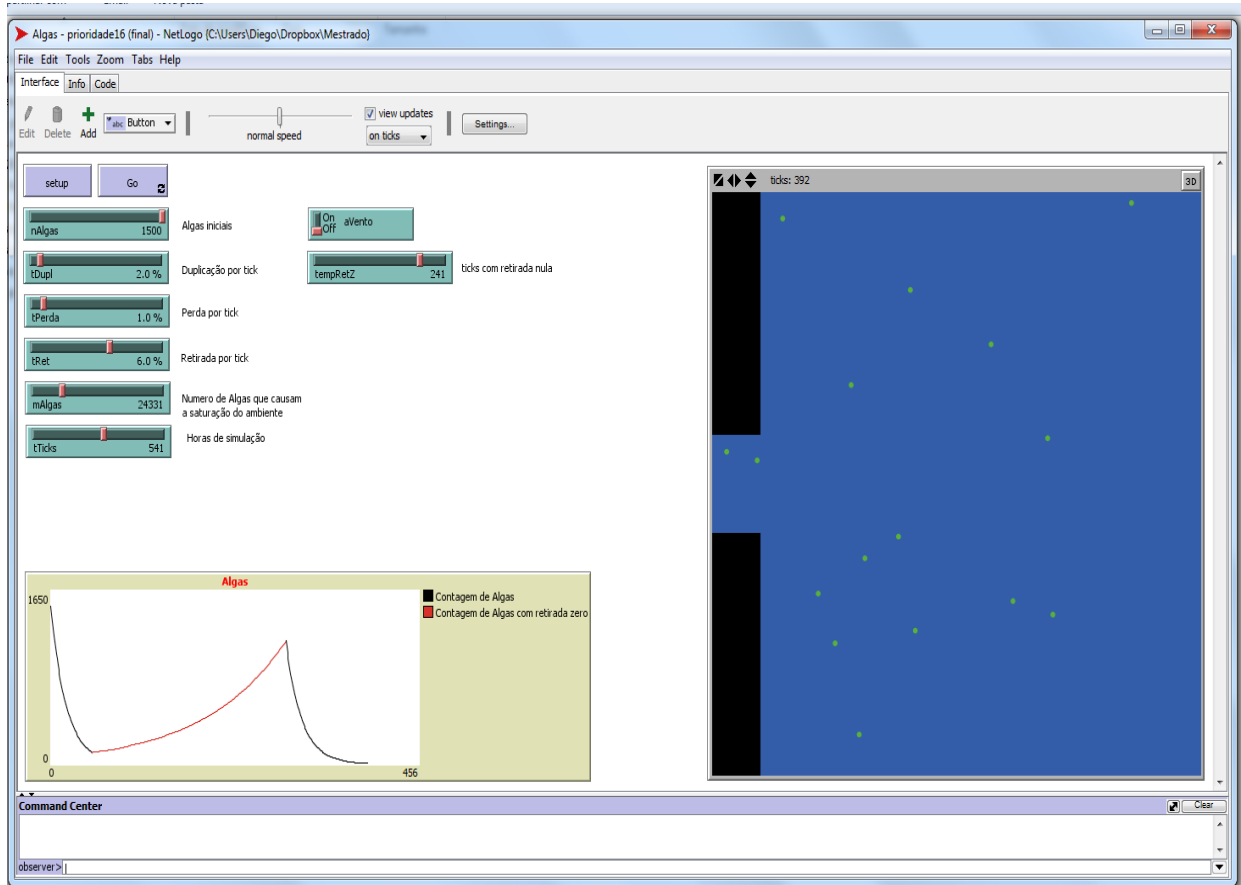
<sup>7</sup> Esse parâmetro é calculado pela quantidade, em porcentagem de algas que deixa o estuário.



**Figura 11 - Modelo com taxa de duplicação, perda e retirada.**

Fonte: Autor (2015).

Foram realizados testes com o modelo ora salientado e, tal modelo, foi aprimorado ciclicamente durante o processo de modelagem. A cada nova interação do modelo com o profissional técnico, foram feitas novas melhorias, dando mais realidade ao modelo proposto, novos parâmetros foram sendo inseridos o que gerou o modelo visto na Figura 12.



**Figura 12 - Interface final do modelo**

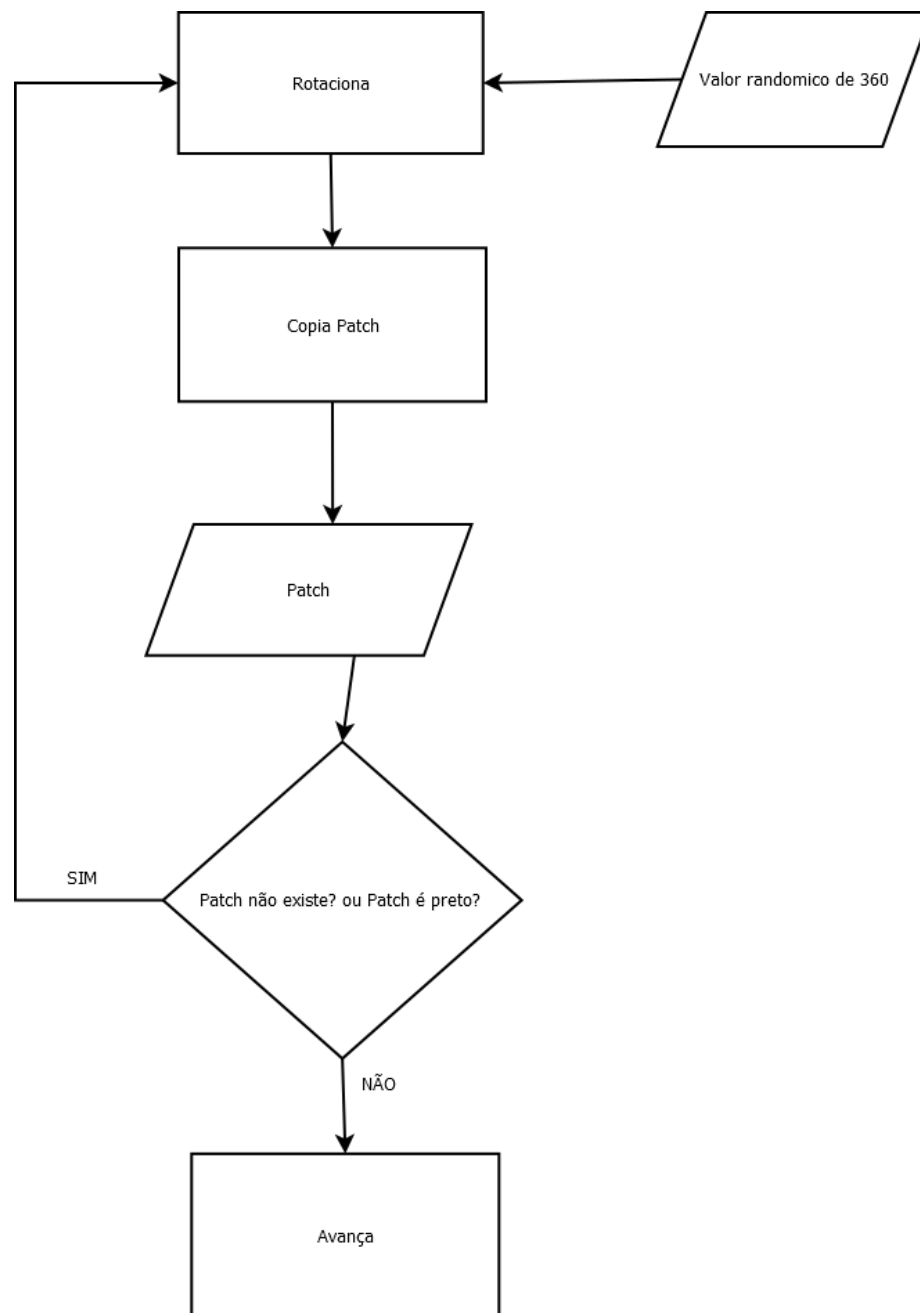
Fonte:Autor (2016).

### 3.2. A simulação

A simulação no ambiente NetLogo é regida pelos *ticks*, que é o intervalo de tempo relativo dentro da simulação. E, esse tempo é relativo, pois o tempo real de relógio de um *tick* não é preciso devido a quantidade de Agentes e o poder computacional do ambiente no qual a simulação esta rodando. Nesse modelo, também tem-se os Agentes que são chamadas de alga. Cada Agente tem um ID diferente, o que diferencia uma alga da outra. A cada *tick*, cada uma dessas algas pode realizar uma ou algumas dessas funções no sistema:

- MoveAlga – A função MoveAlga é uma função que tem papel ilustrativo na simulação, de modo que esse movimento não interfere no aumento ou diminuição de algas, e serve apenas para demonstrar um efeito de movimento nas algas durante a simulação. Essa função é executada por todas as algas a cada *tick*. Nessa função, cada um dos Agentes “Alga” realiza um giro no seu próprio espaço aleatoriamente entre 0 e

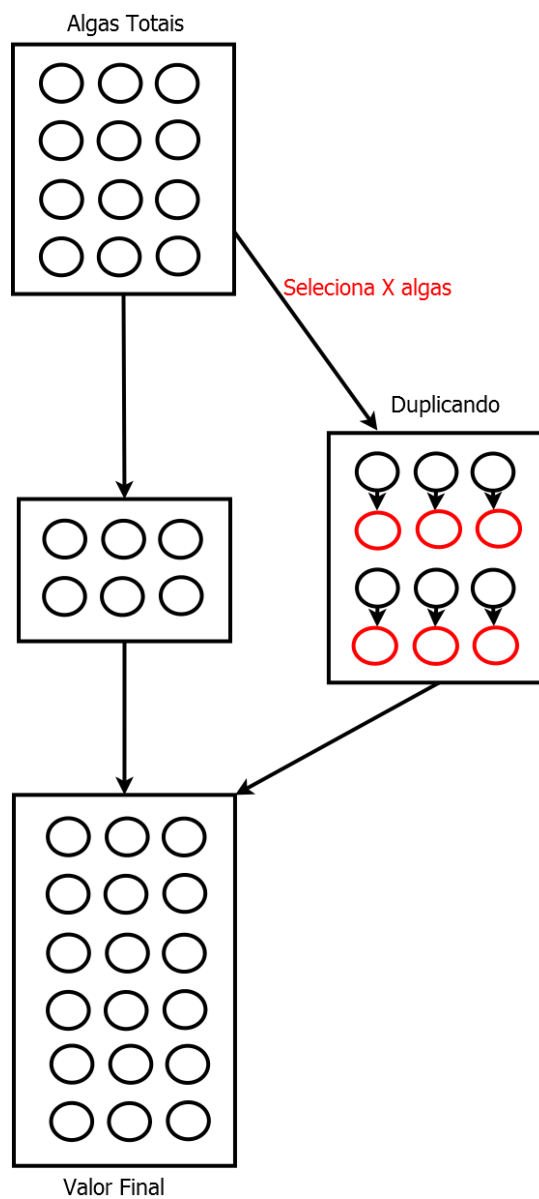
360°. O agente verifica se o espaço a sua frente é um espaço válido para realizar o movimento, sendo um espaço válido, ele realiza o movimento andando nessa direção; se o espaço não é válido, ele realiza um novo giro e testa novamente o espaço até que ele consiga realizar um movimento. É importante observar que esse movimento ocorre sempre dentro de um mesmo *tick*. Pode-se observar o funcionamento no fluxograma da Figura 13.



**Figura 13 - Fluxograma da função MoveAlga**

Fonte: Autor (2016).

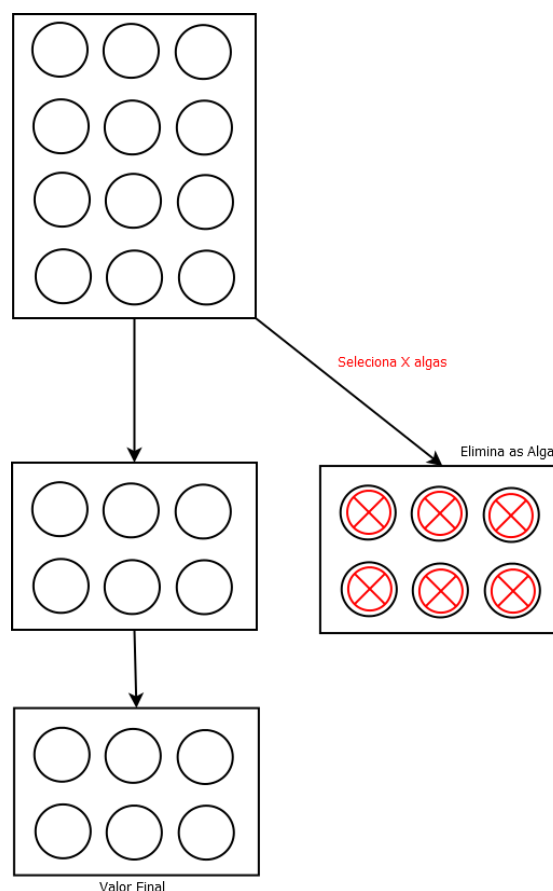
- DuplicAlga – Essa função é executada a cada *tick*, porém não é executada por cada Agente. A particularidade dessa função é que ela inicia selecionando algum/s Agente/s (alga/s) e, esses Agentes realizam uma duplicação, ou seja, cada um dos Agentes selecionados gera um novo, com seu próprio ID e esse Agente estará disponível no próximo *tick* para realizar todas as funções possíveis de qualquer alga. Um exemplo do funcionamento dessa função pode ser visto na Figura 14.



**Figura 14 - Funcionamento do DuplicAlga**

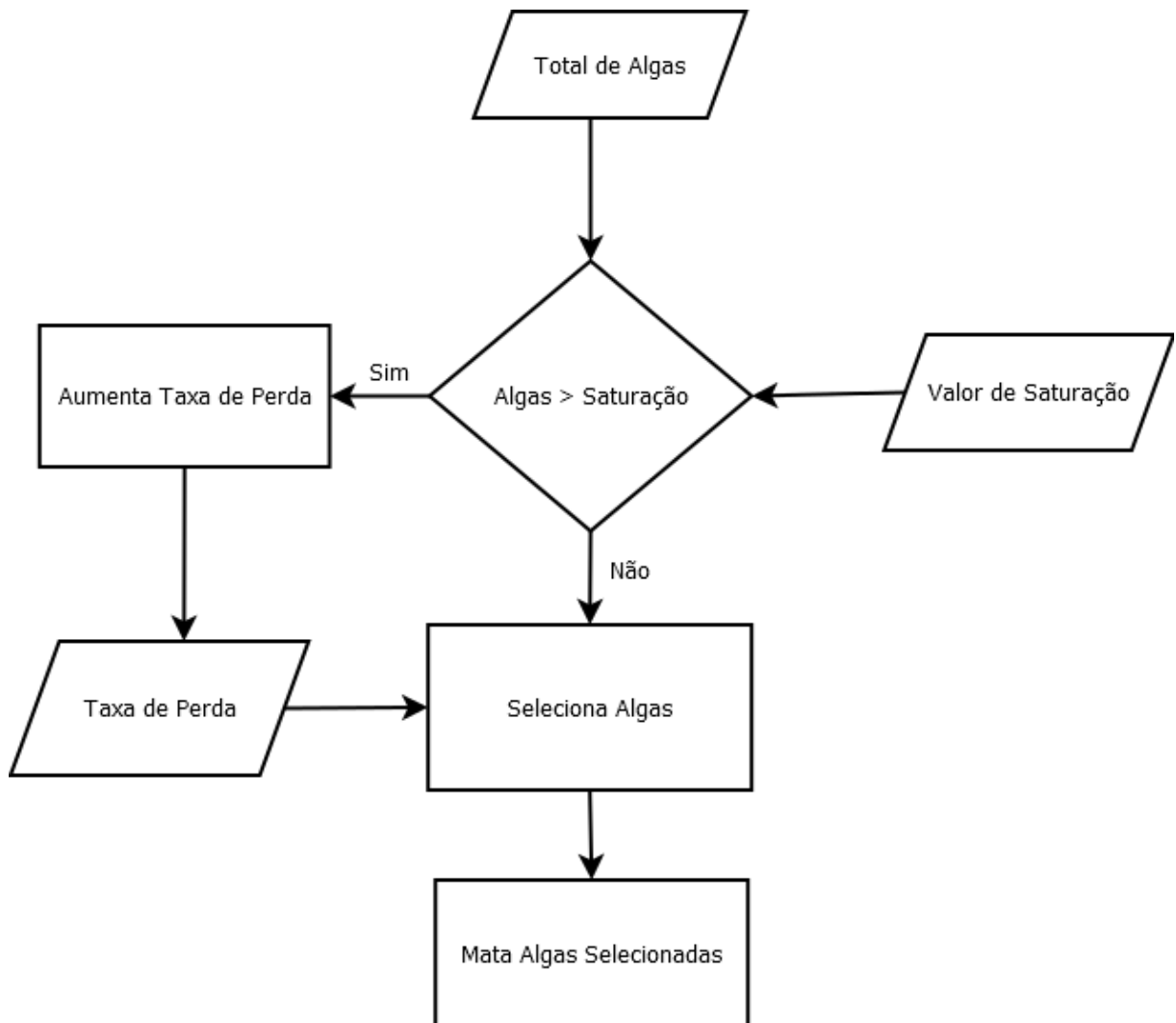
Fonte: Autor (2016).

- PerdAlga – Essa função, igualmente a anterior, é realizada a cada *tick* e também não é executada por Agentes. Tal função seleciona algum/s Agente/s que serão eliminados do modelo. Entretanto, ela se diferencia da função anterior durante essa seleção, pois ela realiza uma seleção diferenciada dos Agentes quando existe um número de algas maior que o selecionado no parâmetro saturação na interface do modelo. Esse parâmetro saturação significa que o ambiente não comporta o número de algas atual devido à falta de nutrientes e espaço, gerando assim uma taxa maior de perda de algas. Essa função simula as perdas por causas naturais, por exemplo: pastejo pelágicos e bentônicos, senescência, doenças, sedimentação entre outros, excetuando a retirada de algas do estuário com a saída da água doce. O funcionamento pode ser visto na Figura 15 e no fluxograma da Figura 16.



**Figura 15 – Funcionamento padrão do PerdAlga**

Fonte: Autor (2016).

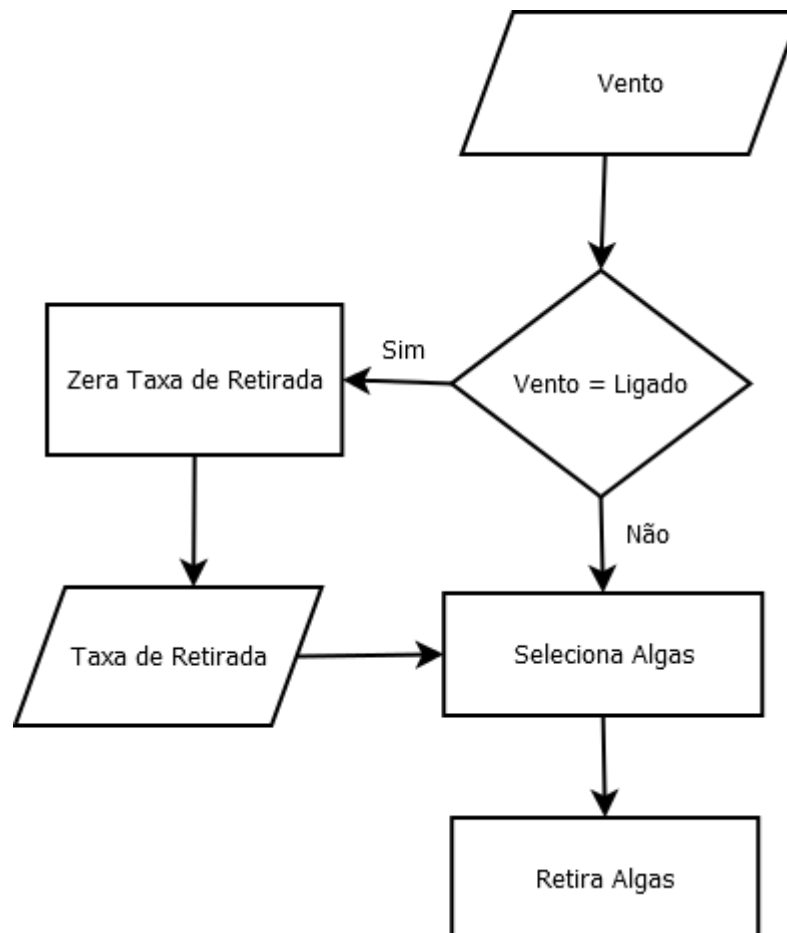


**Figura 16 - Fluxograma completo do PerdAlga**

Fonte: Autor (2016).

- RetVol – Essa última função é similar a função duplicAlga. Tal função é executada a cada *tick*, excetuando os *ticks* relacionados ao tempo de retenção, no qual essa função não está ativa. A função seleciona um número de algas que serão retiradas da simulação. Dessa maneira, essa função simula a saída de algas do estuário para o ambiente marinho, que é nula durante um tempo de retenção (ação do vento sul sobre a saída do estuário). O fluxograma de funcionamento de tal função pode ser visto na Figura 17.



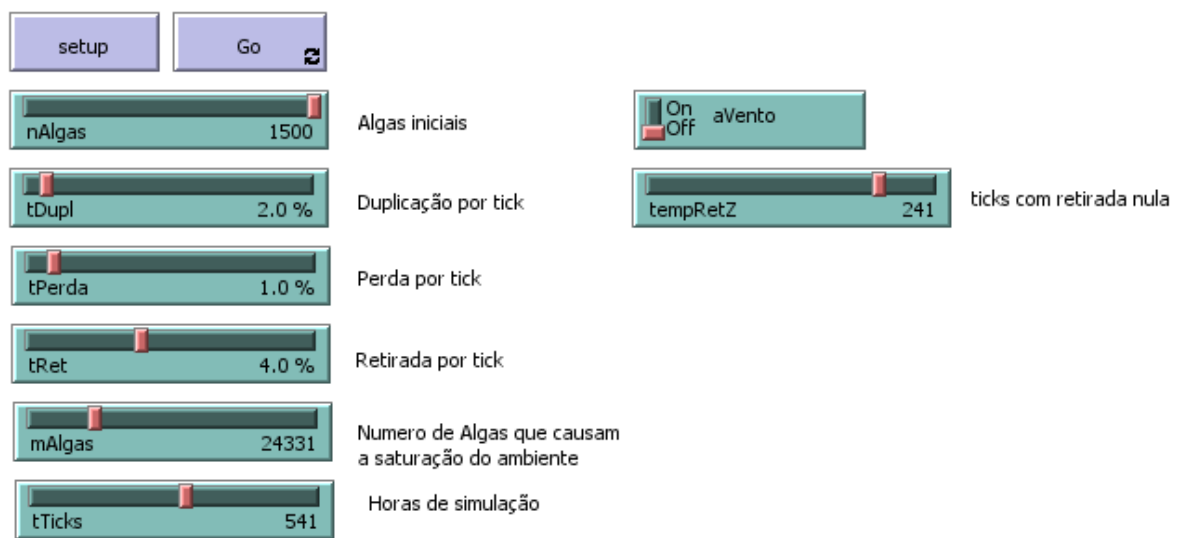


**Figura 17 - Fluxograma da função RetVol**

Fonte: Autor (2016).

### 3.2.1. Configurando o ambiente

Antes de realizar qualquer simulação deve-se fazer uma configuração nos parâmetros do ambiente, o que se pode realizar por meio da interface de configuração na Figura 18. Os parâmetros que devem-se configurar são os seguintes:



**Figura 18 - Interface de configurações de parâmetros**

Fonte:Autor (2016).

- nAlgas – esse parâmetro informa o número inicial de Agentes no ambiente, ou seja, pode-se entender esse valor como o número de algas iniciais no ambiente.
- tDupl – aqui é informado a taxa de duplicação, ou seja, qual é a porcentagem de Agentes que serão duplicados a cada *tick*. Por intermédio desse parâmetro define-se a velocidade de crescimento do número de algas no ambiente a cada unidade de tempo.
- tPerda – nesse parâmetro é inserido a taxa de perda de Agentes e cada *tick*. Tal parâmetro controla a quantidade de algas que serão excluídas da simulação a cada unidade de tempo, o que pode-se interpretar como a taxa de perda em relação à morte de algas, predação e outros fatores naturais. Esse parâmetro pode sofrer alteração durante a simulação, quando há saturação do ambiente, o que pode aumentar essa taxa.
- tRet – os valores que são selecionados para esse parâmetro é referente taxa de Agentes que sairão da simulação. Esse parâmetro simula a taxa com que as algas saem do estuário. É importante salientar que essa taxa pode-se alterar durante a simulação devido ao tempo de retenção, ou seja, quando há tempo de retenção essa taxa fica nula.

- mAlgas - esse parâmetro é o valor que se for alcançado pelo número de algas atuais altera o tPerda, de modo que a perda de algas seja maior a cada unidade de tempo. Tal parâmetro é utilizado para simular o uso dos recursos do ambiente devido ao excesso de algas no ambiente.
- tTicks – esse parâmetro controla a quantidade de *ticks* de cada simulação. É importante salientar que o nome do parâmetro se da devido a unidade de tempo relativo em simulações, utilizando NetLogo é *tick*. Durante a calibragem, esse valor será transformado em uma unidade similar aos dados observados *in loco*.
- vento – essa caixa de seleção é utilizada para ligar ou desligar o tempo de retenção durante a simulação.
- tempRetZ – esse parâmetro é o que controla a quantidade de ticks em que há tempo de retenção (retirada = 0). Tal parâmetro simula o vento, realizando uma ação sobre a entrada do estuário e bloqueando a saída de algas do estuário.

### 3.3. Codificação

Durante a criação do código que rege a simulação, foram adotadas algumas padronizações de modo que ficasse mais legível o código e que futuras modificações fossem facilitadas. Algumas dessas padronizações são:

- Toda a Função terá sua nomenclatura dividida em duas palavras ou parte de palavras que façam sentido com o motivo da existência dessa função, sem espaços entre elas devido a exigência da linguagem e ambas palavras iniciadas com a primeira letra maiúscula.
- Todos os Parâmetros visíveis ao usuário terão sua nomenclatura dividida em letra inicial da primeira palavra e segunda palavra completa, de modo que o parâmetro tenha sentido para o usuário, também devido a exigência da linguagem não há espaço entre esse caractere inicial e a segunda palavra. Nos parâmetros, o caractere deve ser escrito em letra minúscula e o primeiro caractere da segunda palavra com letra maiúscula.

- Parâmetros não visíveis ao usuário podem ser escritos totalmente em letras minúsculas e são compostos apenas por uma palavra.

```

1  to MoveAlga
2  ask alga [
3    rt random-float 360
4    set cor patch-ahead 1
5    while [cor = nobody or [ pcolor ] of cor = black][
6      rt random-float 360
7      set cor patch-ahead 1
8    ]
9    fd 1
10 ]
11 end
12

```

**Figura 19 - Função MoveAlga**

Fonte:Autor (2016).

### 3.3.1. Função MoveAlga

A função MoveAlga (Figura 19) tem seu início no comando *toMoveAlga* e finaliza no comando *end* linha 11. Em seu corpo é feita uma solicitação para cada alga do sistema, utilizando o comando *ask alga*. Esse comando tem seu início na linha 2 e finaliza na linha 10 e define que cada alga do sistema deve proceder os comandos que estão em seu escopo. Os comandos que devem ser realizados são os seguintes *rt random-float 360*, que é um comando que faz com que a alga realize uma volta em seu próprio eixo em um número randômico de até 360. Logo em seguida, ele seta o valor do parâmetro *cor* com o valor da patch que está a sua frente, utilizando o comando *set cor patch-ahead 1*. Após a identificação do patch, ele verifica se o patch não existe ou se a sua cor é preta, sendo verdadeira qualquer dessas afirmações ele refaz os comandos anteriores até que ele encontre um patch existente, diferente da cor preta. Os códigos que realizam esse processo estão

compreendidos entre as linhas 5 a 8 da Figura 19. Para finalizar a função, quando for encontrado um espaço apropriado a frente da alga, esta realiza o processo de deslocamento para esse patch usando o comando *fd1*.

### 3.3.2. Função *DuplicaAlga*

```

1  to DuplicAlga
2    set ret ((tDupl * contAlg) / 100)
3    ask n-of ret turtles[
4      hatch 1 [
5        set color green
6        set breed alga
7        set shape "circle"
8      ]
9    ]
10  end
11

```

**Figura 20 - Função *DuplicAlga***

Fonte:Autor (2016).

A função *DuplicAlga* (Figura 20) que tem seu início na linha 1 do código no comando *toDuplicAlgae* finaliza na linha 10 no comando *end*. A linha 2 do código seta a variável *ret* com o valor de algas a serem duplicadas. Da linha 3 até a linha 9 é realizada a duplicação dessas algas, tendo início na solicitação de um número de algas de acordo com o valor contido na variável *ret*. É importante salientar que a palavra *turtles*, na linguagem de programação utilizada, faz referência a cada Agente do sistema, não tendo relação a palavra resultante de sua tradução, então, a linha 3 do código está realizando uma solicitação para um número de algas (*turtles*) e esse número de algas será o valor contido na variável *ret*, sendo que os Agentes selecionados serão de forma aleatória, sem especificar. Da linha 4 a linha 8 do código, cada uma das algas selecionadas gera uma nova alga com as propriedades

que são setadas nas linhas 5, 6 e 7 que são: Sua cor será verde, sua raça será alga e seu formato será um círculo.

### 3.3.3. Função *PerdeAlga*

A função *PerdeAlga* (figura 21), tem início na linha 1 com o comando `toPerdeAlga` e encerra na linha 21 com o comando `end`. Após a abertura da função é realizado um teste inicial na linha 2. Esse teste consiste de verificar se a quantidade de alga existente no ambiente é maior do que o ambiente suporta. Esse valor que o ambiente suporta é dado pela variável `mAlgas` na interface do modelo. Neste mesmo teste, também, é possível verificar se a simulação já se encontra em estado de saturação. Isso é evidenciado pela preposição `sat = 1`, isso significa que toda vez que o ambiente entrar em estado de saturação ele não sairá desse estado até o final da simulação. A linha 3, dessa função, é setada a variável `sat` com o valor 1, se a preposição da linha anterior for verdadeira o `sat` irá ser setado como 1 e na próxima execução a preposição será válida novamente. Esse mecanismo foi utilizado para garantir que quando a simulação entrar em estado de saturação, ela não sairá desse estado até o final da simulação. Se a variável `sat` tiver valor 0, ela vai entrar em estado de saturação apenas se a contagem de algas for maior que a variável `mAlgas`.

Na sequência do código, estando o ambiente em situação de saturação, opção essa que levará a execução das linhas 3 à 11 do código, será realizado um teste na variável `tPerdaSat` para verificar se ela está com o valor 0, se isso for verdadeiro é inserido o valor 10 nessa variável. Nesse momento, a taxa de perda por saturação será 10. Se a taxa de perda por saturação (`tPerdaSat`) for diferente de 0, então, ela ignorará a linha 5 do código e irá manter seu valor atual. Em seguida, ela irá executar a linha 7 do código que aumentará em 70% o valor da `tPerdaSat`. Após, será feito um teste para ver se o valor da variável `tPerdaSat` é maior que 100, pois o valor da taxa de perda por saturação não pode ser maior que 100, caso esse valor seja maior, será setada a taxa como sendo o máximo permitido (100). Ao final, é calculado a quantidade de algas que serão eliminadas (`ret`), utilizando-se dessa taxa de perda por saturação (`tPerdaSat`) ao invés de utilizar a `tPerda` que foi setada na interface do ambiente (Linha 11), as linhas 14 e 15 serão ignoradas.

Se o teste da linha 2 for falso, isso significa que a contagem de algas é menor que a `mAlgas` e a variável `sat` está setada com valor 0, as linhas 3 a 11 serão ignoradas e será executada as linhas 14 e 15. Nessas linhas, o cálculo de quantidade de algas que serão eliminadas (`ret`) será feito utilizando-se da variável `tPerda` que foi setada na interface do ambiente.

Após a seleção, entre os dois trechos de códigos, serão executados as linhas 19 a 20, que seleciona aleatoriamente um número de algas que é dado pela variável `ret` e exclui essas algas da simulação.

```

1  to PerdeAlga
2    ifelse ( count turtles > mAlgas or sat = 1 ) [
3      set sat 1
4      if (tPerdaSat = 0) [
5        set tPerdaSat 10
6      ]
7      set tPerdaSat tPerdaSat + ((tPerdaSat * 70) / 100)
8      if (tPerdaSat > 100) [
9        set tPerdaSat 100
10     ]
11     set ret ((tPerdaSat * count turtles) / 100)
12   ]
13   [
14     set tPerdaSat 0
15     set ret ((tPerda * count turtles) / 100)
16   ]
17
18   ask n-of ret turtles [
19     die
20   ]
21 end
22

```

**Figura 21 - Função PerdeAlga**

Fonte:Autor (2016).

### 3.3.4. FunçãoRetVol

A função `RetVol` (Figura 22), que inicia no comando `toRetVole` finaliza no comando `end` nas linhas 1 e 9, tem como início da função um teste para verificar se a variável `aVento` é verdadeira ou falsa. Essa variável controla quando há ação do vento sobre o estuário, fazendo com que não haja saída de algas do estuário durante um período pré-determinado. O que controla o tempo de retenção do estuário é a função `togoque` será explicada a frente. Quando a variável `aVento` for

verdadeira (`true`) o `tRet` (taxa de retirada) será setada como 0; caso contrário, a linha 3 do código será ignorada e o valor de `tRet` será o valor setado na interface do modelo.

O `tRet` é usado no cálculo de algas que serão retiradas do estuário, esse cálculo acontece na linha 5 do modelo. Após o cálculo, será selecionado, aleatoriamente, um número de algas que será dado pela variável `ret` e essas variáveis serão excluídas da simulação.

```

1  to RetVol
2      if (aVento) [
3          set tRet 0
4      ]
5      set ret ((tRet * contAlg) / 100)
6      ask n-of ret turtles [
7          die
8      ]
9  end
10

```

**Figura 22 - Função RetVol**

Fonte:Autor (2016).

#### 4. RESULTADOS

A calibração desse modelo ocorreu por intermédio da análise dos dados obtidos no modelo e pela comparação dos dados obtidos *in loco* nos estudos desenvolvidos no IO/FURG. Durante essa etapa, foram analisados os dados obtidos no IO/FURG, esses dados são os utilizados no estudo de Abreu et al (2010) e Odebrecht et al (2015). Esses dados foram obtidos por meio de sensores que foram implantados no ELP na principal entrada do cais da Marinha do Brasil, onde o canal é mais estreito. Essa local foi escolhido por ser um ambiente misto. No entanto, pode ocorrer picnoclina<sup>8</sup> em alguns períodos, principalmente, na entrada de água salgada no estuário em forma de cunha, interferindo nos sensores. Os sensores usados foram

<sup>8</sup> Aumento de densidade.

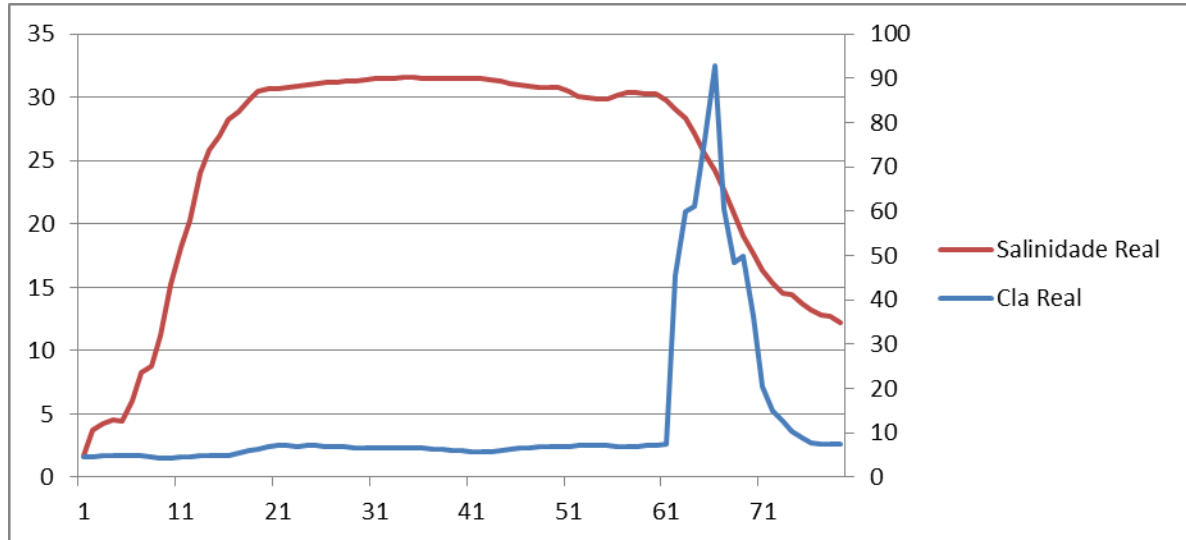


o RBR (sensor submersível de monitoramento contínuo) e um sensor de fluorescência (que captura minuto a minuto). É importante salientar que os sensores passavam por manutenção mensal, na qual eram utilizadas tintas anticorrosivas e feita a remoção de “cracas”, entre outras manutenções necessárias.

Os dados obtidos nesses sensores eram transferidos, semanalmente, a um computador. Ao final, foram obtidos dados que compreendem um período de quase dois anos (março de 2010 - dezembro de 2011), sendo que o período de coleta dos dados é de hora em hora (em relação aos dados que foram obtidos de minuto em minuto foi realizada uma média para que fosse encaixado no período de hora), o que gerou uma tabela de dados com aproximadamente 13800 linhas. Os dados obtidos contam com tempo de coleta, temperatura, voltagem, salinidade e outros. Para esse trabalho, considerou-se o tempo da coleta, a salinidade e a voltagem que foi transformada em valor de *Clorofila A*.

#### **4.1. Seleção dos dados reais**

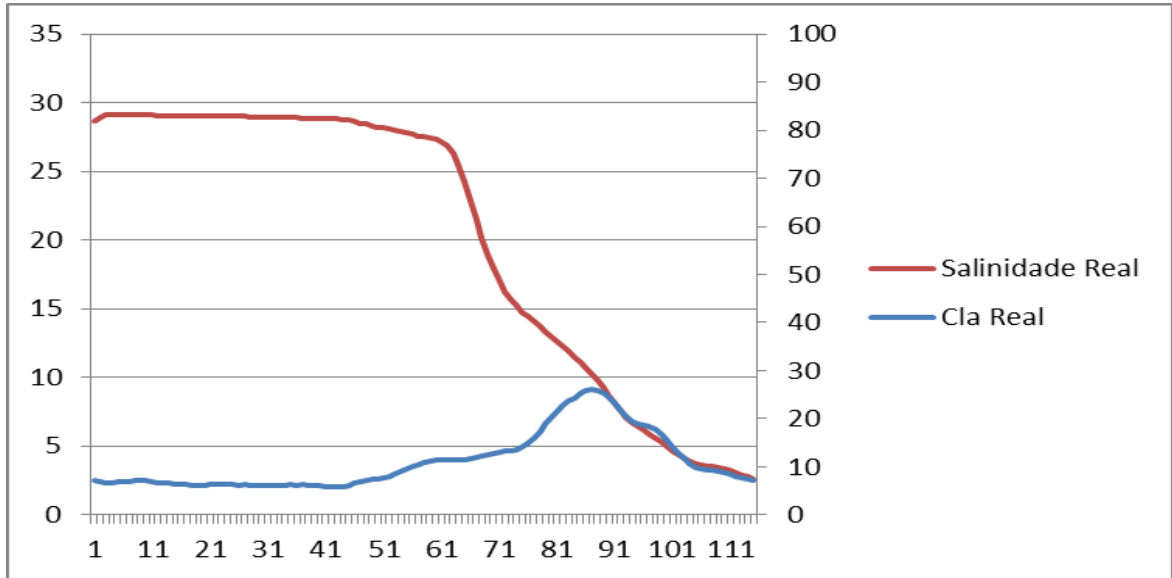
Devido a grande quantidade de dados obtidos, foram selecionados, durante a etapa de calibragem, alguns dos dados obtidos *in loco* nos estudos de Abreu et al (2010) e Odebrecht et al (2015). Dessa seleção, escolheu-se quatro períodos que demonstram os comportamentos relacionados ao tempo de retenção e acúmulo de biomassa de fitoplâncton. Esses dados representam diferentes comportamentos de crescimento em diferentes épocas do ano de modo que a calibragem contemple da melhor maneira possível os dados estudados. Ainda durante essa etapa de calibragem, os dados sofreram mais uma normalização, essa normalização foi realizada por meio da média das últimas 5 horas para demonstrar o valor da hora atual. Dessa maneira, valores que estavam muito fora da curva natural foram corrigidos. Os gráficos selecionados contam com um eixo x que é dado em horas e, dois eixos y, nos quais o eixo da esquerda que vai de 0 a 35 é relativo à *salinidade*, e o eixo da direita que vai de 0 a 100 é relacionado à *ClorofilaA*.



**Figura 23- Dados reais do período de 20/11/2011 à 25/11/2011.**

Fonte:Autor (2016).

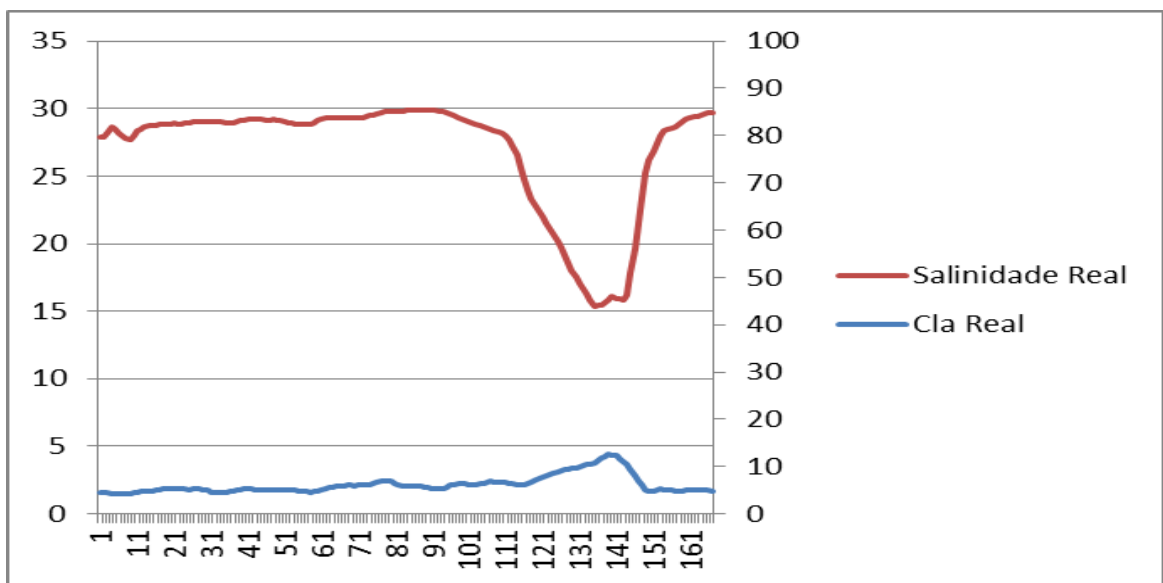
Na Figura 23 foram selecionados os dados do período de 20/11/2011 às 15h até 25/11/2011 às 05h. Nessa figura é possível observar que mesmo com um período de retenção relativamente curto de aproximadamente 60h (período onde a salinidade alcança valores de aproximadamente 30) houve um aumento de Clorofila A, que estava em valores próximos a  $3\mu\text{m}$  e alcançou no final do tempo de retenção, valores aproximados de  $95\mu\text{m}$ . A partir dessa figura, pode-se fazer relação entre o tempo de retenção e o aumento de fitoplâncton no ambiente. E, após a saída da água salgada do estuário, a Clorofila A tende a ser escoada, voltando a parâmetros iniciais.



**Figura 24 -Dados reais do período de 26/10/2010 a 30/10/2010.**

Fonte:Autor (2016).

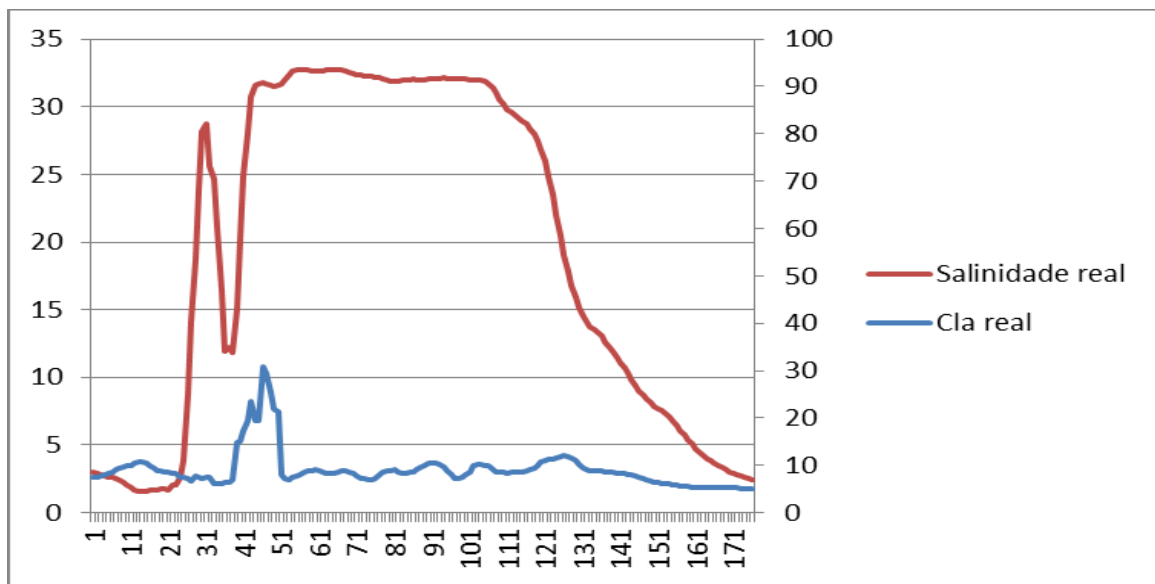
O segundo cenário, visto na Figura 24, evidencia o período compreendido entre 26/10/2010 a 00:00 até dia 30/10/2010 22:00. É possível observar, nessa figura que, mesmo na ocorrência de um tempo de retenção aproximado a Figura 23, não houve um crescimento substancial de Clorofila A. Porém, pode-se notar que na existência de um tempo maior de retenção, poderia haver um maior crescimento, pois a tendência da figura em relação à Clorofila A foi de subida, e foi interrompida pelo final do tempo de retenção e foi escoado.



**Figura 25 - Dados reais do período de 20/04/2010 à 27/04/2010.**

Fonte:Autor (2016).

A Figura 25 está relacionada ao período de 20/04/2010 às 15h até o dia 27/04/2010 às 23h. É possível verificar, que nessa figura, mesmo que o tempo de retenção tenha superado as 110h, não houve aumento real na Clorofila A, um dos fatos que podem ter provocado esse não aumento na Clorofila A é devido ao período pesquisado ser no outono, onde há redução de incidência solar, principalmente em pontos mais ao sul, como é o caso do estuário estudado.



**Figura 26 - Dados reais do período de 24/02/2011 à 03/03/2011.**

Fonte:Autor (2016).

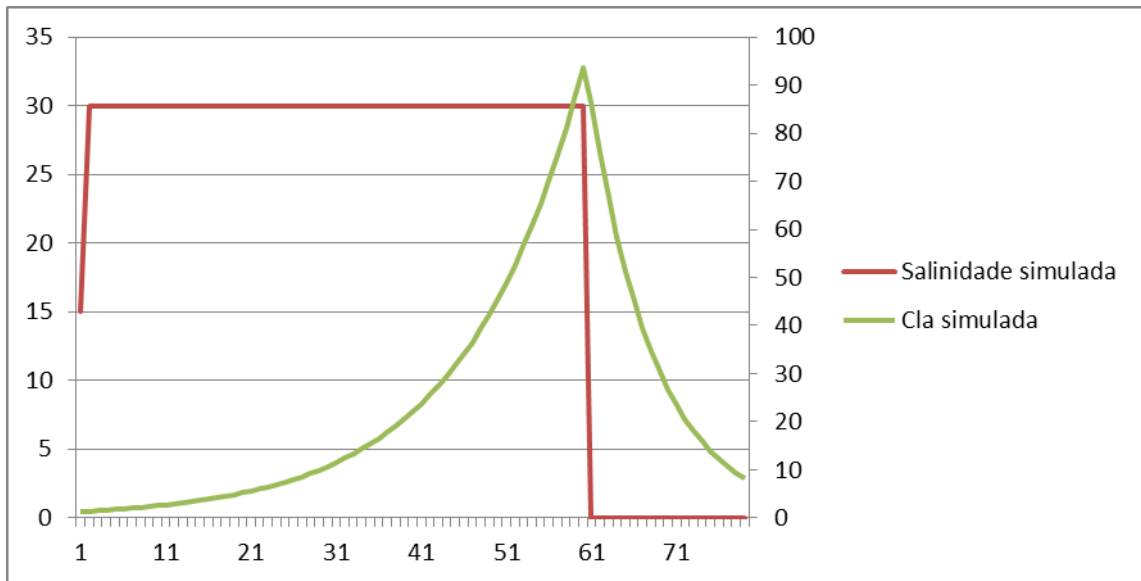
A Figura 26 mostra em que local houve a pincloina em função da entrada de água salgada no estuário em forma de cunha, o que alterou os resultados obtidos no sensor. Devido a isso, houve um aumento de Clorofila A durante o aumento da salinidade no estuário, o que caracteriza que essa entrada em forma de cunha fez com que o sedimento do fundo do estuário fosse suspenso. Dessa maneira, houve alteração nos dados de entrada do sensor e, após um período, o valor da Clorofila A voltou a valores normais, pois esse sedimento que foi suspenso durante a entrada de água salgada no estuário voltou a seu estado natural. Esse tipo de situação não é prevista pelo modelo criado devido a ser um resultado atípico e não é considerado nesse estudo.

## 4.2. Seleção de dados simulados

Os dados simulados foram obtidos a partir de vários testes com o modelo. A partir desses testes, foram escolhidos os intervalos que se aproximassem ao máximo dos dados reais, de modo que é possível verificar que o modelo, quando dentro de um padrão, consegue simular um comportamento similar ao comportamento dos dados reais. Para cada um dos três primeiros gráficos (Figuras 23, 24 e 25), anteriormente mencionados, foram feitas simulações. Antes de comparar os dados obtidos *in loco* aos valores simulados, foi necessário que houvesse uma normalização nos dados obtidos no modelo de modo que os dados oriundos do modelo fossem dados compatíveis aos oriundos dos reais. Para isso foram padronizadas as seguintes relações aos dados obtidos do modelo:

- Cada hora de dado real é equivalente a 2 *ticks* de simulação: isso significa que se os dados reais tiverem equivalente a 100 horas, os dados simulados terão equivalente a 200 *ticks* (tempo dentro da simulação). Será feita uma média a cada 2 *ticks*, de modo que seja gerado 1 único *tick*.
- O modelo trabalha com a nomenclatura Alga para a quantidade de algas do sistema, de modo a trabalhar com dados equivalentes. As algas foram divididas por 300, de modo que os valores fossem aproximados durante a simulação e assim os valores simulados e os valores reais trabalhem com a nomenclatura *Clorofila A*.
- A salinidade é um dado meramente visual no modelo e foi considerado valor 30 sempre que houvesse tempo de retenção.

Um fator importante de ressaltar é que durante as simulações o tempo de retenção (*tempRetZ*) foi escolhido levando em consideração o início da queda da salinidade no estuário.



**Figura 27 – Dados simulados para o período de 20/11/2011 à 25/11/2011.**

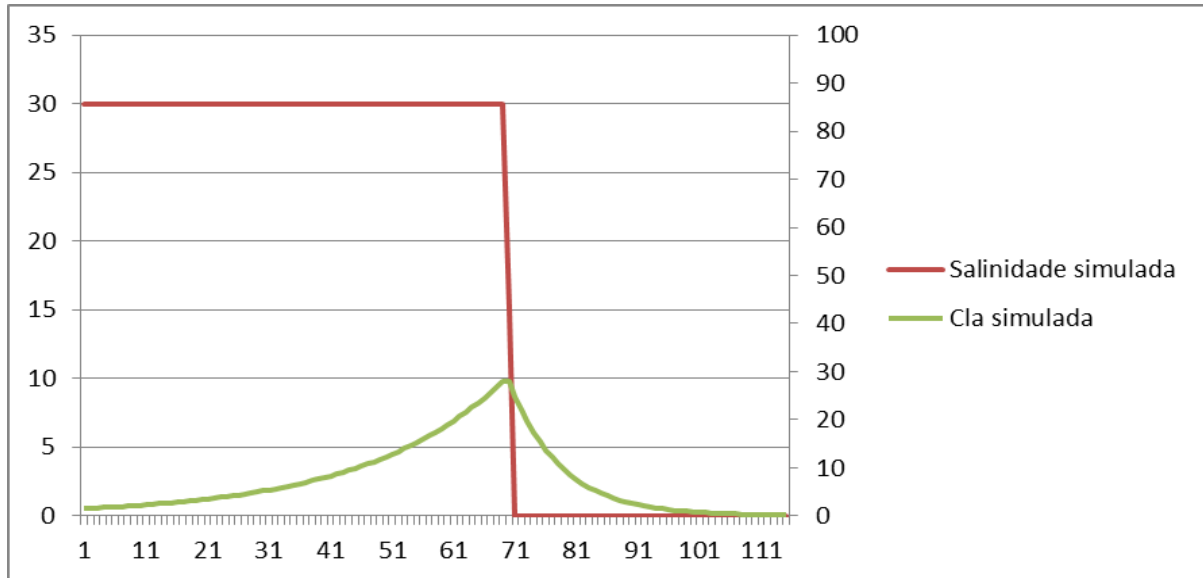
Fonte:Autor (2016).

A figura 27 foi gerada a partir do modelo, utilizando os seguintes dados de entrada:

- nAlgas = 1500;
- tDupl = 8%;
- tPerda = 4%;
- tRet = 10%;
- mAlgas = 55000;
- tTicks = 350;
- tempRetZ = 120;

É importante salientar que esses dados foram inseridos na interface da simulação e que dados relacionados a tempo como o tempRetZ e tTicks devem ser normalizados de acordo com a normalização realizada nos resultados finais. Sendo assim, o tempRetZ ao final da simulação é equivalente a 60h e o tTicks a 175h. Outro valor que deve ser normalizado é o valor do nAlgas, que deve ser dividido por 300 ficando em valores aceitáveis para Clorofila A inicial de 5µm. O valor de mAlgas segue o mesmo padrão, mas na simulação atual este não teve interferência.

Essa figura simula o resultados reais da Figura 21, tendo como tempo de retenção aproximadamente 60h. A figura gerada na simulação apresenta grande similaridade ao gráfico gerado de dados reais.



**Figura 28 – Dados simulados para o período de 26/10/2010 a 30/10/2010.**

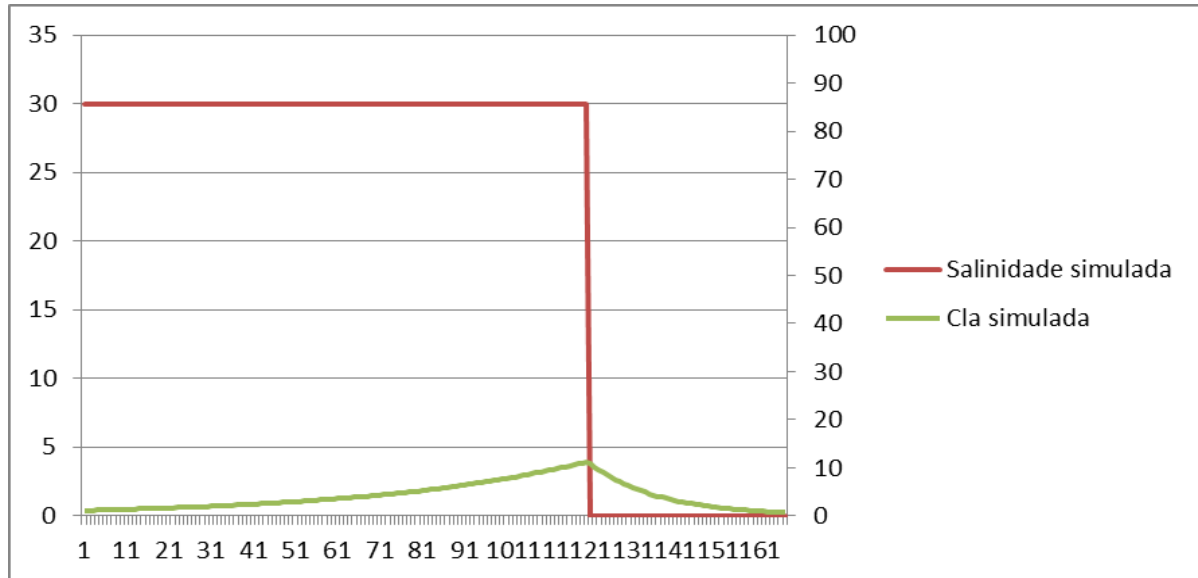
Fonte:Autor (2016).

A Figura 28 simula a Figura 24 com dados reais, do período de 26/10/2010 à 30/10/2010. Nessa simulação, foram usados os seguintes dados de entrada:

- nAlgas = 1500;
- tDupl = 7%;
- tPerda = 4,5%;
- tRet = 8%;
- mAlgas = 55000;
- tTicks = 350;
- tempRetZ = 140;

É importante salientar que os valores de nAlgas, mAlgas, tTicks e tempRetZ foram normalizados de acordo com o mencionado anteriormente (os dados relacionados a algas foram divididos por 300 e os relacionados a *tick* foram dividido por 2), de modo que se mantenha padrão entre os gráficos simulados. Dessa maneira, o valor de nAlgas ficou igual a 5 e os tTicks igual a 175h e tempRetZ ficando equivalente a 70h. Ao verificar os dados reais, nota-se que o valor

do tempo de retenção é aproximado a 70h, sendo assim fica equivalente a simulação.



**Figura 29– Dados simulados para o período de 20/04/2010 à 27/04/2010.**

Fonte:Autor (2016).

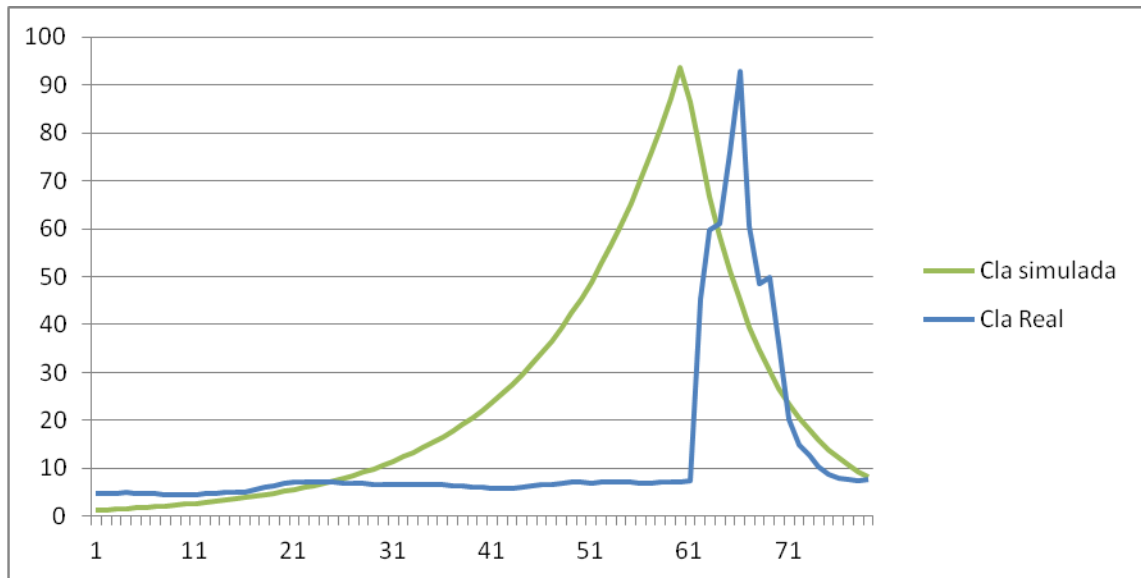
A Figura 29 realiza a simulação dos dados reais relacionados a Figura 25, que leva em consideração o período de 20/04/2010 à 27/04/2010, para essa simulação foram utilizados os seguintes dados:

- nAlgas = 1500;
- tDupl = 2%;
- tPerda = 1%;
- tRet = 4%;
- mAlgas = 55000;
- tTicks = 541;
- tempRetZ = 241;

Para manter o mesmo padrão dos gráficos anteriores, foram utilizadas as mesmas unidades de normalização de dados, para valores relacionados a algas foi realizada uma divisão por 300 e para valores relacionados aticks foi realizada uma divisão por 2. Dessa forma, nAlgas equivale a 5µm e tTicks 270h e tempRetZ 120h.



### 4.3. Discussão dos dados



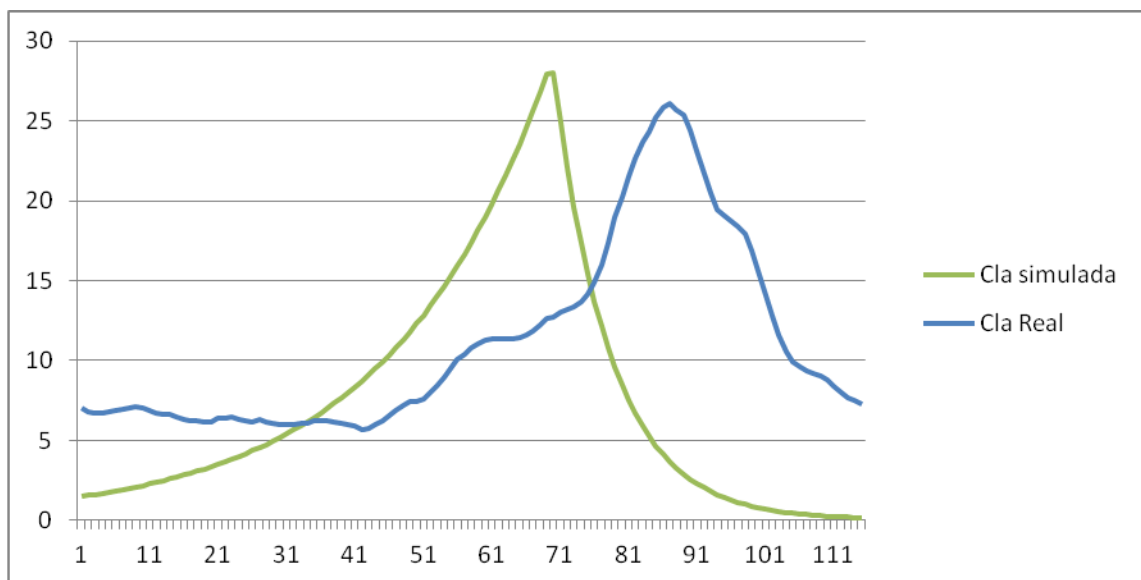
**Figura 30 - Clorofila A Real X Simulada do período de 20/11/2011 à 25/11/2011.**

Fonte:Autor (2016).

A Figura 30 demonstra o valor de Clorofila A simulada e Clorofila A real. Nesse exemplo, pode-se perceber que com um tempo de retenção de aproximadamente 70h, houve um aumento acentuado na Clorofila A. Esse aumento pode-se justificar pelo período do ano de obtenção dos dados, que no hemisfério sul é fim da primavera e início do verão, período onde o sol é predominante, o que pode ter causado uma maior taxa de duplicação. Devido a isso, foi escolhido na simulação uma taxa de duplicação de 8% por hora. Nessa simulação, foram escolhidos valores de  $t_{Perda}$  igual a 4% por hora. Após a simulação e normalização de dados, é possível verificar a semelhança de comportamento entre as curvas. É importante salientar que o eixo X representa o tempo e nessa figura o tempo de retenção ocorre entre o tempo 1h ao tempo 61h aproximadamente. Pode-se verificar a curva de saída de água do estuário (a partir das 61h), há uma queda substancial de algas, demonstrando a importância do tempo de retenção nesse acúmulo.

Quando analisa-se a Figura 31, pode-se verificar inicialmente que há um crescimento menos substancial que o relativo a Figura 30. As justificativas para esse menor crescimento, mesmo que com valor de retenção entre 1h a 71h aproximadamente, é devido a ser uma época menos propícia a interferências solares no ambiente, o que pode ter reduzido a eficiência do crescimento de Clorofila A.

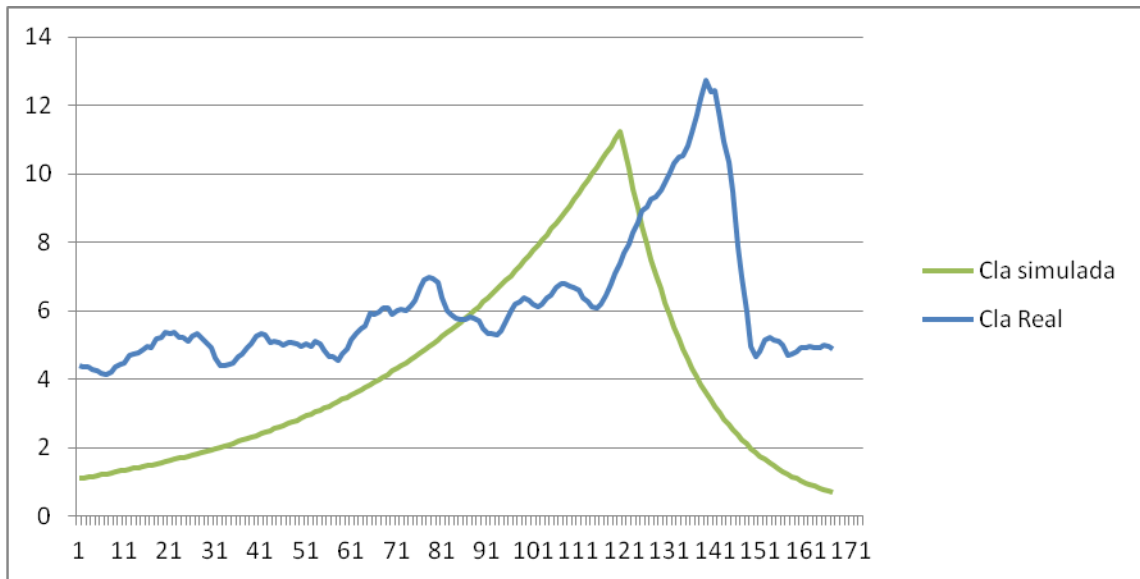
Sabe-se que o sol tem grande influência na fotossíntese e uma redução de sol pode influenciar negativamente o crescimento das algas ou, ainda, pode-se caracterizar essa diminuição pelo aumento de perda de Clorofila A para predadores ou outras causas. Durante a simulação houve, então, uma redução nos valores de tDuplic, que na figura anterior era de 8% por hora, enquanto nessa figura foi reduzido para 7% por hora, e houve um aumento na tPerda 4% por hora para 4.5 por hora. Mesmo com essas reduções, pode-se verificar que devido a retenção de 71h, o acúmulo ocorreu dentro desse tempo, pois instantaneamente após o final da retenção, a quantidade de Clorofila A foi reduzida a valores padrão.



**Figura 31 - Clorofila A Real X Simulada do período de 26/10/2010 a 30/10/2010.**

Fonte:Autor (2016).

A Figura 32 demonstra, principalmente, uma situação na qual não há crescimento substancial de Clorofila A, mesmo com um tempo de retenção relativamente grande, de aproximadamente 140h, período compreendido na figura no eixo x entre 1 a 141. É possível verificar, também, que o tempo de retenção gera um pequeno crescimento, evidenciando que há uma maior duplicação do que perda de Clorofila Ano estuário, o que gera um pequeno crescimento de aproximadamente  $12\mu\text{m}$ , e que após o tempo de retenção sofre com o escoamento.



**Figura 32 - Clorofila A Real X Simulada do período de 20/04/2010 à 27/04/2010.**

Fonte:Autor (2016).

A partir do estudo dessas três situações foi possível verificar que os resultados da simulação são satisfatórios pois, conseguiram se aproximar dos resultados reais, criando gráficos similares, é importante salientar que através dessa simulação conseguimos extrair visualmente a importância do tempo de retenção para a existência de acumulo o que contraria os estudos de Lucas et al. (2009). Outro fator preponderante e que devemos ponderar, é que nos gráficos a Clorofila A simula e a real alcançam seu ápice em intervalo de tempo diferente, isso pode ser originário da escolha de tempo de retenção na simulação, o tempo escolhido para criar a simulação em relação a Figura 30 foi 61h que é o tempo compreendido no real entre o início da subida de salinidade até o início da descida da salinidade, enquanto na Figura 31 e 32 o período escolhido foi baseado no ápice de salinidade (a entrada de agua salgada no estuário não foi considerada), essa escolha se deu pelo cenário diferenciado nas horas que antecederam a entrada de agua salgada no estuário que na Figura 30 havia um período maior de salinidade baixa enquanto na Figura 31 e 32 havia períodos intercalados de entrada e saída, fato esse que pode ter deixado esses gráficos não tão próximos como o gráfico da Figura 30.

## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou demonstrar a importância do tempo de retenção no acúmulo de biomassa de fitoplâncton. Para tanto, foi desenvolvido um modelo que demonstrasse o efeito do tempo de retenção sobre acúmulo de biomassa. Devido ao potencial da modelagem baseada em agentes na criação de modelos voltados a áreas de fenômenos emergentes e biológicos, foi desenvolvido um modelo baseado em agentes, para simular o acúmulo de biomassa.

Outro motivador do presente trabalho é a criação de um modelo que possa, efetivamente, simular situações possíveis, de modo que, se obtenha dados relevantes para pesquisas futuras. Os dados gerados pelo modelo podem ser utilizados em pesquisas e reduzir custos de obtenção de dados, que é um problema para esse tipo de estudo, devido a quantidade de dados temporais e outras influências que o estuário e os sensores sofrem durante esse tempo de pesquisa.

Para tanto, foi desenvolvido o modelo com auxílio de especialistas e pesquisas bibliográficas, dando origem as regras que o agente deveria seguir, e o comportamento do sistema como um todo (ambiente, agente e ações). Como primeiro modelo com conhecimento adquirido de especialistas foi gerado um primeiro modelo que já demonstrava dados válidos para o problema, esse primeiro modelo gerou um resumo publicado nos anais do Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e Aplicações (WESAAC) em 2015 (PORCELLIS, et. al. 2015). A partir desse modelo, foram implementadas melhorias para gerar o modelo atual.

Pode se concluir que, os estudos desenvolvidos durante essa pesquisa foram promissores, pois conseguiram demonstrar de modo simulado a importância do tempo de retenção no Estuário da Lagoa dos Patos e, por meio de gráficos gerados no instante da simulação conseguimos perceber, instantaneamente, na frente de um computador, modificações que demandariam meses ou anos de pesquisas devido a dificuldade na obtenção desses dados, pois atualmente é necessário a inserção de sensores que devem ser trazidos a superfície semanalmente para obter os dados e também passam mensalmente por manutenção e para tudo isso é necessário um treinamento de mão de obra.

Outro fator relevante do trabalho é a possibilidade de gerar cenários novos que até então não foram encontrados e verificar como esses cenários afetariam o crescimento de Clorofila A no estuário. Essa possibilidade pode ser importante como forma de prever situações futuras e também realizar a engenharia reversa, que seria a partir de um gráfico entender como se deu o crescimento e qual foi a principal influência. O modelo criado também foi idealizado para ser mais genérico possível de modo que possa ser utilizado em outros ambientes e representar resultados satisfatórios, mesmo que ainda necessite de calibração e mais estudos para verificar se realmente ele consegue simular situações em outros ambientes.

Como trabalhos futuros, podemos idealizar um aperfeiçoamento do código de modo que os resultados consigam ser mais aproximados aos resultados de dados reais, também será importante um estudo aprimorado para conhecer os valores de entrada do modelo, buscando encontrar os valores reais e verificar a exatidão e influência desses valores de entrada no resultado final. Ainda como trabalhos futuros, podem ser realizados estudos em outros ambientes de modo que possamos verificar se realmente o modelo ficou generalizado para os mais diversos ambientes. É importante realizar estudos para verificar a viabilidade de inserir informações sobre o sedimento que foi abordado durante o trabalho na figura 26, de modo que o modelo consiga prever também esses dados.

## 6. BIBLIOGRAFIA

ABREU, Paulo C., BERGESCH, Marli e PROENÇA, Luis A., **Short-and long-term chlorophyll a variability in the shallow microtidal Patos Lagoon estuary, southern Brazil**. *Estuaries and Coasts* 33.2: 554-569. 2010.

ADAMATTI, D. F., **AFRODITE-Ambiente de Simulação Baseado em Agentes com Emoções**. Tese de Doutorado. UFRGS, 2003.

ALLAN, J. D., e BENKE, A. C.. **Overview and prospects**, p. 1087–1103. *Rivers of North America*. Elsevier. 2005.

HOWARTH, R. W., D. P. Swaney, T. J. Butler, e R. Marino. **Climatic control on eutrophication of the Hudson River Estuary**. *Ecosystems* 3: 210–215. 2000.

HÜBNER, Jomi Fred. **Um modelo de reorganização de sistemas multiagentes**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2003.

JASSBY, A. D. **Phytoplankton in the Upper San Francisco Estuary: Recent biomass trends, their causes and their trophic significance**. San Francisco. *Estuary Watershed Sci.* 6. Disponível em: <http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.cgi?article51103&context5jmie/sfews>. 2008.

JOHNSON, Steven, **Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities, and Software**. New York: Touchstone, 2001. LALLI, Carol, e TIMOTHY R. Parsons. **Biological Oceanography: An Introduction: An Introduction**. Butterworth-Heinemann, 1997.

LUCAS, Lisa V., THOMPSON, Janet K. e BROWN, Larry R. **Why are diverse relationships observed between phytoplankton biomass and transport time**. *Limnology and Oceanography* 54.1: 381-390. 2009.

ODEBRECHT, C., ABREU, P.C., CARSTENSEN, J., **Retention time generates shortterm phytoplankton blooms in a shallow microtidal subtropical estuary**, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, doi: 10.1016/j.ecss.2015.03.004. 2015.

PORCELLIS, Diego de Abreu. ADAMATTI, Diana. ABREU, Paulo. **Modelando a Variação da Biomassa do Fitoplâncton no Estuário da Lagoa dos Patos através da Simulação Baseada em Multiagentes**. Workshop-Escola de Sistemas de Agentes, seus Ambientes e Aplicações (WESAAC), 2015.

PRITCHARD, Donald W. **Observations of circulation in coastal plain estuaries**. 1967.

WEISS, G., **MultiAgentSystems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence**. Cambridge: The MIT Press, 2000.

RANDALL D. Knight, **Física: Uma Abordagem Estratégica - Vol 4**, Bookman ISBN 8-577-80597-2. 2009.

RAHMANDAD, Hazhir; STERMAN, John. **Heterogeneity and network structure in the dynamics of diffusion: Comparing agent-based and differential equation models**. Management Science, v. 54, n. 5, p. 998-1014. 2008.

REYNOLDS, C. S. **Hydroecology of river plankton: The role of variability in channel flow**. Hydrol. Process. 14: 3119–3132. 2000.

REZENDE, S. O, **Sistemas Inteligentes: Fundamentos e aplicações**. 1. Ed. Barueri: Manole, 2005.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. Prentice Hall. 1995.

SEELIGER, Ulrich, ODEBRECHT, Clarisse. **Introduction and overview**. Subtropical convergence environments: the coast and sea in the southwestern Atlantic. New York: Springer, 1997

SØBALLE, D. M., e KIMMEL, B. L.. **A large-scale comparison of factors influencing phytoplankton abundance in rivers, lakes, and impoundments**. Ecology 68: 1943–1954. 1987.

TANG, Yuqing. PARSONS, Simon. SKALAR, Elizabeth. **Modeling human education data: From equation-based modeling to agent-based modeling**, Hakodate, Japan. 2006.

WERLANG, Pablo Santos. **Simulação da curva de crescimento do Mycobacterium tuberculosis utilizando sistemas multiagentes**, Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande/FURG, 2013.

WILENSKY, Uri. **NetLogo 5.0.4 User Manual: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling**, Northwestern University, Evanston, Illinois, USA, 2007.

WOOLDRIDGE, M. **An Introduction to MultiAgent System**. Liverpool: John Wiley & Sons, 2009.

**ANEXOS**



### Anexo I – Código completo da simulação

```

breed [alga algas]

alga-own [duplicacao]

globals[
borda
estuario
cor
contAlg
ret
tPerdaSat
sat
temp
]

to setup
clear-all

;;aqui seta as bordas da saida do estuário
setborda patches with [pxcor< -40 and (pycor> 8 or pycor< -8)]
askborda [ set pcolor black ]

;;aqui seta o tamanho do estuário
setestuario patches with [not(pxcor< -40 and (pycor> 8 or pycor< -8))]
askestuario [ set pcolor blue ]

;;cria um numero de algas dentro do estuário definido pela variável algas
askn-ofnAlgasestuario[
sprout 1[ ;;cria uma alga em qualquer patch
setcolor green
set breed alga
set shape "circle"
setduplicacao 0
]
]
set temp tRet
settPerdaSattPerda
set sat 0
reset-ticks
end

```

CONTINUA...

```
to go
if (tTicks< ticks or ticks >tempRetZ + 150)[
stop
]
ifelse (ticks > 50 and ticks <tempRetZ + 50)[
setaVento true
][
setaVento false
settRet temp
]

if (count turtles < 4) [
stop
]
setcontAlg count alga
MoveAlga
DuplicAlga
PerdeAlga
RetVol

tick
end

toMoveAlga
ask alga [
rt random-float 360
setcor patch-ahead 1
while [cor = nobody or [pcolor] of cor = black][
rt random-float 360
setcor patch-ahead 1
]
fd 1
]
end
```

CONTINUA...

```

toDuplicAlga
set ret ((tDupl * contAlg) / 100)
ask n-of ret turtles[
hatch 1 [

setcolor green
set breed alga
set shape "circle"
]
]
end

toPerdeAlga
ifelse(count turtles > mAlgas or sat = 1 ) [
set sat 1
if (tPerdaSat = 0) [
set tPerdaSat 10
]
set tPerdaSat tPerdaSat + ((tPerdaSat * 70) / 100)
if (tPerdaSat > 100) [
set tPerdaSat 100
]
set ret ((tPerdaSat * count turtles) / 100)
]
[
set tPerdaSat 0
set ret ((tPerda * count turtles) / 100)
]
ask n-of ret turtles[
die
]
end

toRetVol
if (aVento) [
set tRet 0
]
set ret ((tRet * contAlg) / 100)
ask n-of ret turtles[
die
]
end

```

FIM