

CityCell  
urban  
growth  
simulator

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / Universidade Federal de Pelotas

Laboratório de Urbanismo  
[www.ufpel.edu.br/faurb/laburb](http://www.ufpel.edu.br/faurb/laburb)



## Manual do usuário do CityCell

Edição 02

Pelotas, maio de 2022

Bolsista Eduarda Galho dos Santos, Graduação  
Professor Maurício Couto Polidori, Dr

# FICHA CATALOGRÁFICA

# SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	6
1.1	INTERFACE .....	8
1.2	CRIANDO UM NOVO PROJETO .....	10
2.	CRIANDO ATRIBUTOS DE ENTRADA.....	14
3.	CRIANDO OS PROCESSOS DE SIMULAÇÃO .....	24
3.1	PARAMETRIZANDO O MODELO.....	34
3.2	CALIBRANDO O MODELO .....	40
3.3	ANALISANDO O MODELO .....	41
3.3.1	COMPARAÇÃO CRISP .....	43
3.3.2	SEMELHANÇA DIFUSA ( <i>FUZZY</i> ).....	45
3.3.3	BORDER EXTRACTION .....	46
4.	RESULTADOS .....	49
5.	EXPORTANDO RESULTADOS .....	51
6.	CRÉDITOS .....	56
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

## **RESUMO**

Este trabalho pretende disponibilizar ajuda para a utilização do software CityCell, apresentando suas funcionalidades principais. O software realiza simulações de crescimento urbano utilizando recursos de autômatos celulares, integrando atributos urbanos, naturais e institucionais. Os títulos estão organizados iniciando pela entrada de dados, depois processamento e resultados.

Palavras-chave: simulação, crescimento urbano, autômatos celulares.

# 1. INTRODUÇÃO

Este documento pretende constituir um documento de ajuda aos usuários do software CityCell – Urban Growth Simulator, substituindo a primeira versão, que estava disponível no menu do software. Está diagramado para ser lido em forma de cartilha, mediante visualização de leitura com duas páginas abertas, simultaneamente, lado a lado. São 5 capítulos, partindo das informações de entrada (input), depois processamento e resultados (output).

O CityCell – Urban Growth Simulator consiste em um software desenvolvido para realizar simulações dinâmicas de crescimento urbano, utilizando autômatos celulares, integrando atributos urbanos, naturais e institucionais. Com atributos definidos livremente pelo usuário e mediante as regras disponíveis, é possível realizar simulações e as legitimar caso-a-caso, utilizando ferramentas do software. Os resultados podem ser exportados em diversos formatos, podendo ser importados em programas de SIG – Sistemas de Informação Geográfica.

As regras de crescimento disponíveis, as quais foram desenvolvidas em pesquisas de doutorado e de mestrado, são as seguintes:

- Threshold Potential: simula crescimento urbano a partir de desigualdades espaciais, utilizando a medida de centralidade celular e imputando limiares de crescimento.
- Free Potential: simula crescimento urbano a partir de desigualdades espaciais, utilizando a medida de centralidade celular, sem limitação ao crescimento.
- Threshold Reload: simula crescimento urbano a partir de desigualdades espaciais, utilizando a medida de carregamento celular e imputando limiares de crescimento.
- Free Reload: simula crescimento urbano a partir de desigualdades espaciais, utilizando a medida de carregamento celular, sem limitação ao crescimento.

- WaterLand: dedicada a simular crescimento com interferência específica de recursos hídricos.
- Environment Percolation: permite o crescimento de áreas ambientais, por percolação.
- Environment Acessibility: utiliza a medida de acessibilidade para simular crescimento urbano.
- Periurban Growth Tendency: dedicada a simular crescimento com interesse na formação de periferias urbanas.

## 1.1 INTERFACE

A tela principal do sistema pode ser vista na Figura 1 e é composta por uma barra de ferramentas no topo e uma área de conteúdo no centro.



Figura 1 - Tela principal do CityCell.

A barra de ferramentas principal (Figura 2) é dividida em três áreas:

- Arquivo, com as opções de gerenciamento de arquivos de projeto;
- Conteúdo, que permite acessar diferentes áreas do projeto atual;
- Referência, que permite acessar informações sobre o CityCell.



a

Figura 2 - Barra de ferramentas Principal.

b

c

A descrição das ferramentas pode ser vista na Tabela 1:

FERRAMENTA	ÍCONE	DESCRIÇÃO
New		Cria um novo projeto de simulação
Open		Abre um projeto existente
Save		Salva o projeto atual
Save as		Salva o projeto atual com outro nome
Work Area		Acessa as opções de configuração da área de trabalho do projeto
Attributes		Acessa as ferramentas de entrada de dados para a simulação, na forma de atributos
Processe		Acessa as ferramentas de simulação
About		Acessa a janela de informações sobre o sistema
Help		Acessa o manual do usuário

Tabela 1 - Barra de ferramentas Principal.

## 1.2 CRIANDO UM NOVO PROJETO

Ao acessar o botão **New** na barra de ferramentas principal, o sistema apresenta a janela **New Project** (Figura 3), onde o usuário clicando no ícone  , define o local de salvamento e da nome ao arquivo do projeto. Na mesma janela, também pode ser inserida uma descrição.

O CityCell armazena todas as informações referentes ao projeto em um arquivo único, que pode ser movido de local ou compartilhado sem a necessidade de enviar arquivos adicionais ou manter estruturas rígidas de pasta, como em SIG's tradicionais.

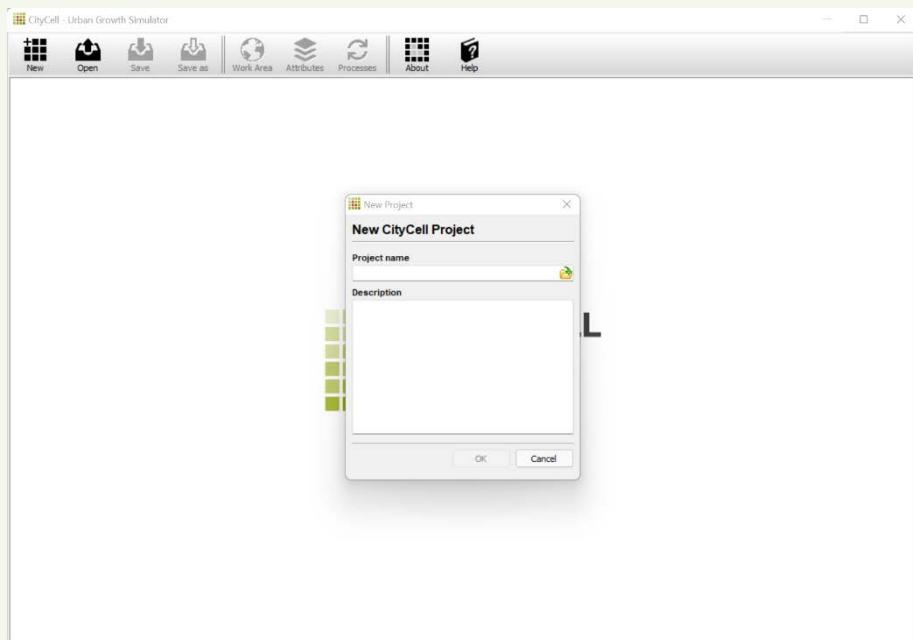


Figura 3 - Novo projeto.

Depois que o projeto é criado, o CityCell requer que o usuário configure a área de trabalho, (Work Area). A janela de configuração pode ser vista na Figura 4, e é acessada a partir da opção **Work Area** na barra de ferramentas Principal. As opções disponíveis estão divididas em três áreas:

- a. Work area geographic location;
- b. Work area visualization;
- c. Background image.

A seção **work area geographic location** define a localização geográfica da área de estudo. O sistema de projeção utilizado é o UTM (Universal Transversa de Mercator) e as medidas estão em metros. As configurações disponíveis nessa seção são as seguintes:

- a) X start point e Y start point – definem as coordenadas geográficas do ponto de referência da área de trabalho, localizado no canto superior esquerdo;
- b) Cell size – define o tamanho da célula;
- c) Cell count – define o tamanho do grid, através da quantidade de células na horizontal (X direction) e na vertical (Y direction);
- d) Coordinate System – define o sistema de coordenadas utilizado, com o objetivo de permitir a troca de dados entre o CityCell e outros softwares de SIG. Atualmente está implementado o suporte para o sistema de coordenadas WGS 1984, de abrangência global, onde o usuário tem a opção de selecionar a zona e o hemisfério no qual a área de trabalho está inserida.

O CityCell também permite a realização de simulações para locais hipotéticos, com áreas de trabalho abstratas. Desse modo o usuário deve preencher somente os campos referentes ao tamanho do grid (cell count), mantendo as configurações referentes à localização da área de trabalho em seus valores default sem prejuízo dos resultados obtidos.

A seção **background image**  , possibilita a inserção de uma imagem que servirá de referência para as edições e simulações realizadas. O CityCell permite a inserção de qualquer imagem no formato JPG, representando lugares hipotéticos ou reais.

No caso de imagens de satélite georreferenciadas, a opção Adjust work area to image permite copiar automaticamente os dados sobre o posicionamento da imagem para os dados da localização geográfica da área de trabalho, facilitando a configuração inicial do projeto (Figura 5). Vale destacar que a posição da imagem não precisa corresponder exatamente à área de trabalho do projeto.

#### DICAS:

- Para evitar erros, é importante fazer a atualização de informações da seção work area geographic location antes de inserir a imagem de referência. E após a inserção da imagem é recomendável aguardar seu carregamento por completo antes de executar outra função.
- Na função cell cize, a escolha do tamanho de células é livre, porém quanto maior a quantidade de células, maior será o tempo de processamento.
- Dar preferência a imagens em arquivos mais leves, facilitando o funcionamento do programa.

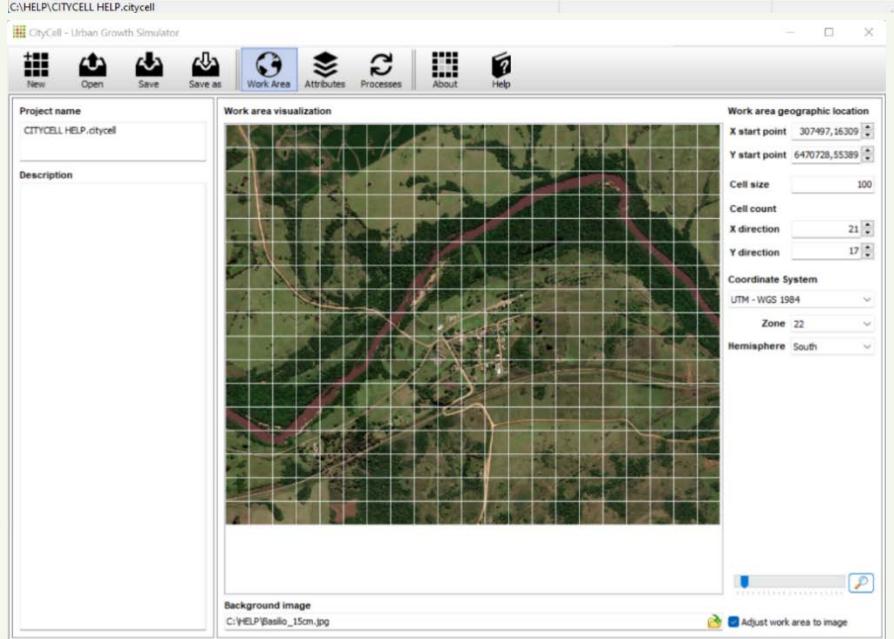
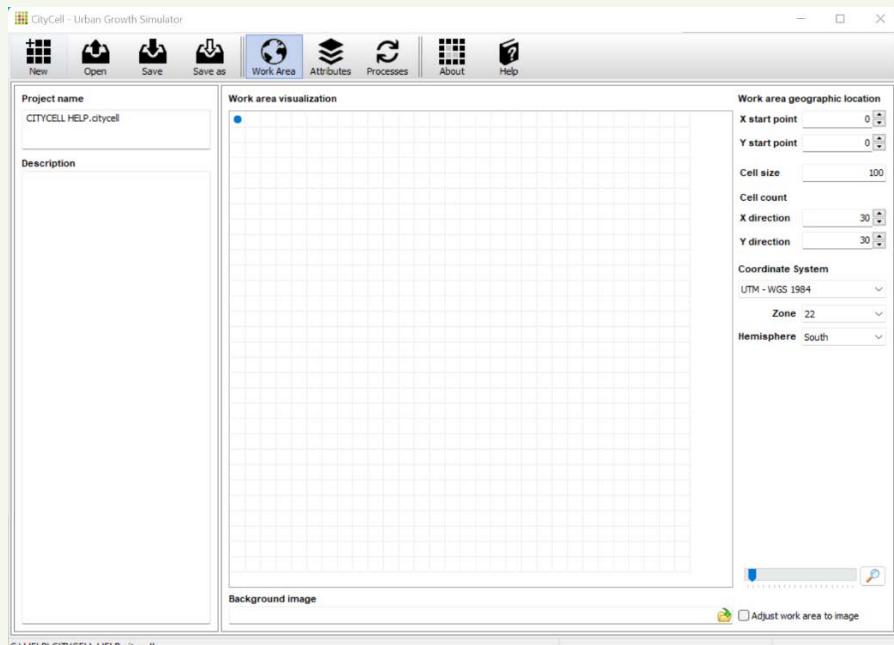


Figura 4 - Configuração da área de trabalho.

Figura 5 - Configuração da área de trabalho com imagem georreferenciada.

## 2. CRIANDO ATRIBUTOS DE ENTRADA

A entrada de dados no CityCell corresponde à definição dos atributos referentes aos fatores urbanos, naturais ou institucionais que irão representar o ambiente a ser simulado. No contexto do modelo de simulação de crescimento, atributos são representações do ambiente e contém uma tabela de propriedades associada a um grid.

A entrada dos dados referentes às propriedades dos atributos, bem como sua visualização, é feita através da seleção do comando **Attributes** na barra de ferramentas principal. Nesse estado, o painel de navegação à esquerda apresenta a listagem dos atributos presentes no projeto com suas respectivas legendas, juntamente com a barra de ferramentas com as ações referentes aos atributos.

O painel central apresenta a visualização dos grids referentes a esses atributos (Figura 6).

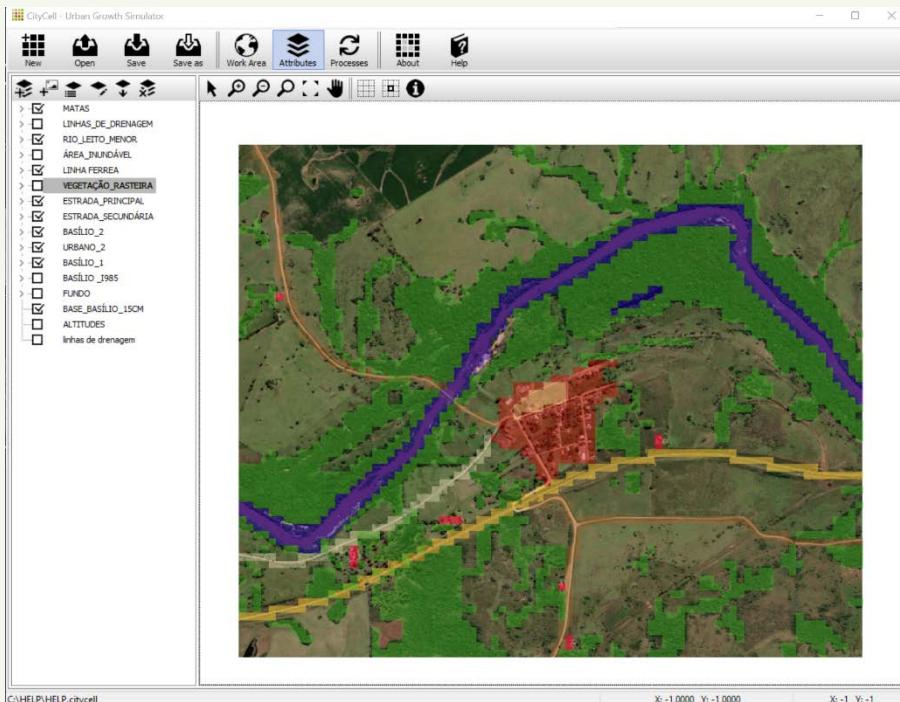


Figura 6 - Tela principal do CityCell no modo Attributes.

A janela de visualização exibe os atributos pertencentes ao projeto, de acordo com seu estado (ligado ou desligado) na lista de atributos e renderizados conforme suas legendas. A visualização possui recursos de Zoom e Pan, acessados pela barra de ferramentas dedicada ou através de atalhos no mouse (Figura 6).



Figura 7 - Barra de ferramentas de Seleção .

### Funções de seleção do mouse:

Scroll (rolar o scroll): aproxima ou afasta a tela de desenho;

Scroll (clicar no scroll): tem a função do pan, movendo a vista para os lados, para cima e para baixo.

A descrição das ferramentas de seleção pode ser vista na Tabela 2:

FERRAMENTA	ÍCONE	DESCRIÇÃO
Select		Permite selecionar as células para colorir
Zoom In		Permite ampliar a região de trabalho
Zoom Out		Permite reduzir a região de trabalho
Zoom Window		Permite ampliar o zoom da região de trabalho selecionada (clicar e arrastar sobre a porção desejada)
Zoom Extents		Permite aplicar zoom para exibir toda extensão da região de trabalho
Pan		Permite mover a vista sem alterar a ampliação da região de trabalho
Grid		Permite ativar ou desativar o grid
Cell Grid		Permite selecionar uma célula específica do grid
Cell Info		Permite exibir informações da célula ao posicionar o mouse sobre ela

Tabela 2 - Barra de ferramentas de Seleção.

A barra de status (Figura 8) trabalha em conjunto com a janela de visualização, informando dois tipos de coordenadas de acordo com a posição do ponteiro do mouse:

- a) coordenadas geográficas em UTM e
- b) coordenadas absolutas referentes à linha e à coluna da célula atual no grid.

X: -1,0000 Y: -1,0000

X: -1 Y: -1

Figura 8 - Barra de status.

A barra de ferramentas do painel Attributes (Figura 9) contém as opções de gerenciamento de atributos de entrada, listadas a seguir na Tabela 3.



Figura 9 - Barra de ferramentas Atributos.

FERRAMENTA	ÍCONE	DESCRIÇÃO
New Attribute		Permite a inclusão de novos atributos
Properties		Permite editar as propriedades e legenda dos atributos existentes
Edit Grid		Permite abrir a ferramenta de edição visual de grids raster
Export Grid		Permite exportar rasters em formato TXT ou GeoTIFF
Delete		Permite excluir o atributo selecionado

Tabela 3 - Barra de ferramentas Atributos.

A criação de novos atributos é feita através da janela **New Attribute**, onde o usuário pode inserir as seguintes propriedades do atributo:

- a) nome (name);
- b) descrição (description);
- c) tipo (type), que pode ser natural, urbano, institucional, imagem ou máscara (respectivamente, environmental, urban, institutional, image, mask);
- d) comportamento (behavior), que pode ser atração ou resistência (respectivamente, attraction e resistance);
- e) peso (weight);
- f) limiar (threshold);
- g) tipo de dados (data type), que pode ser booleano (1 bit), byte (8 bits), inteiro (16 bits) ou ponto flutuante (32 bits);
- h) mutante (mutable);
- i) congelado (freezing) e
- j) percolador (percolator).

É possível importar um grid externo, proveniente do CityCell ou de outro software de geoprocessamento, utilizando a função “import raster file”.

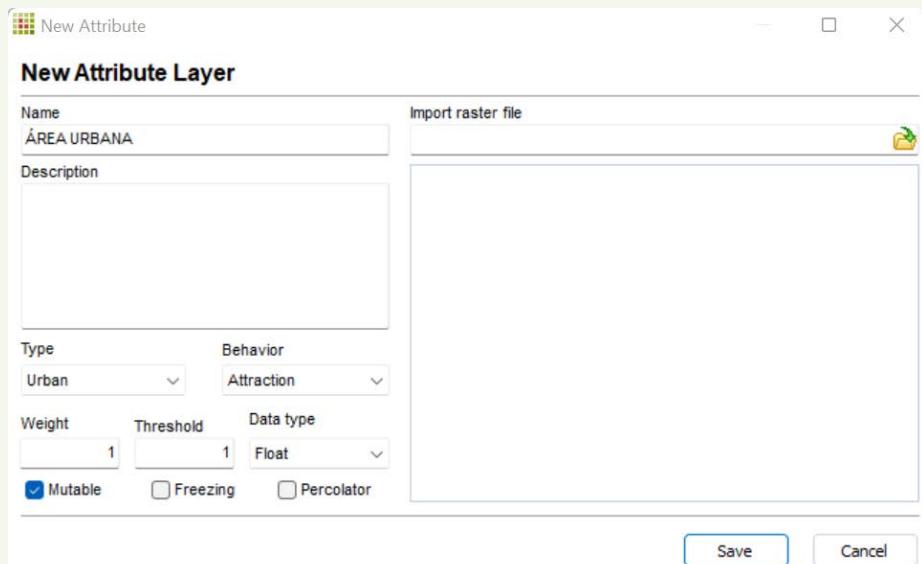


Figura 10 – Janela New Attribute.

Essas propriedades podem ser alteradas posteriormente através do comando **Properties** (Figura 11), na barra de ferramentas. Exceto a propriedade de **Data type** que uma vez salva na criação do atributo não permite alteração.

Para acessar o **Edit Attribute** (Editor de Atributos) basta dar um clique duplo com o botão esquerdo do mouse no Layer desejado.

É possível editar a **legenda** do atributo (Figura 12), com a possibilidade de classificação de dados pelo método:

- a) intervalos iguais (equal intervals)

Também é possível selecionar o nível de transparência do atributo. Outro modo de acessar a legenda é clicando no Edit Grid e após Edit Legend.

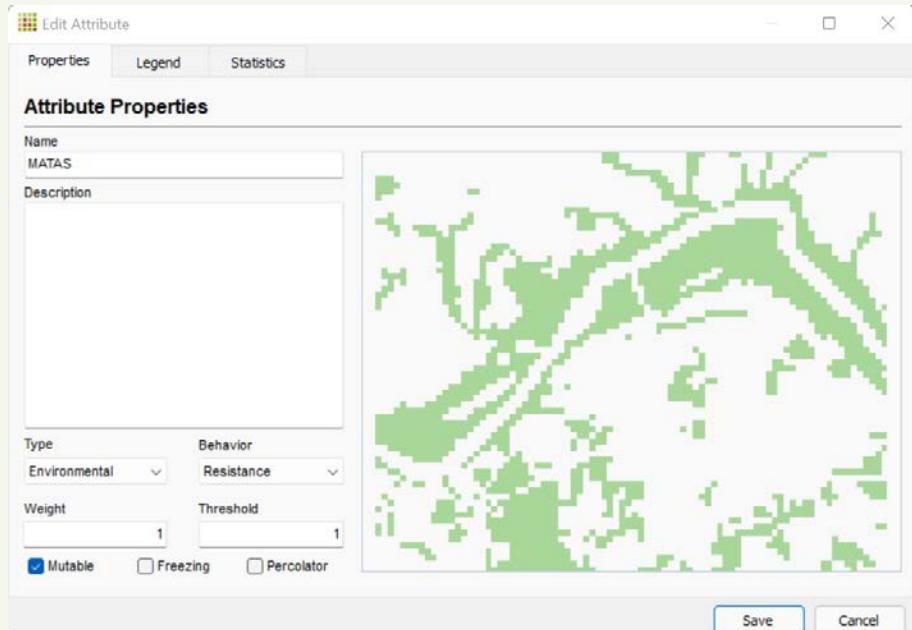


Figura 11 - Janela de propriedades do atributo.

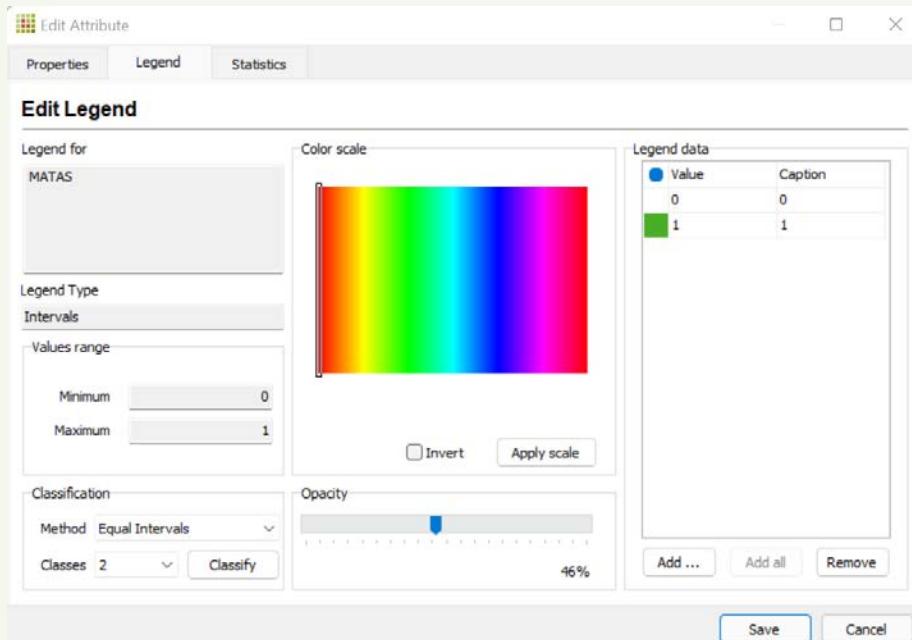


Figura 12 - Janela de legenda.

Além de dar acesso as propriedades e legendas, a janela de edição do atributo, abre também um painel de **estatísticas** do grid, onde é possível verificar um histograma com a contagem de células de cada tipo (Figura 13).

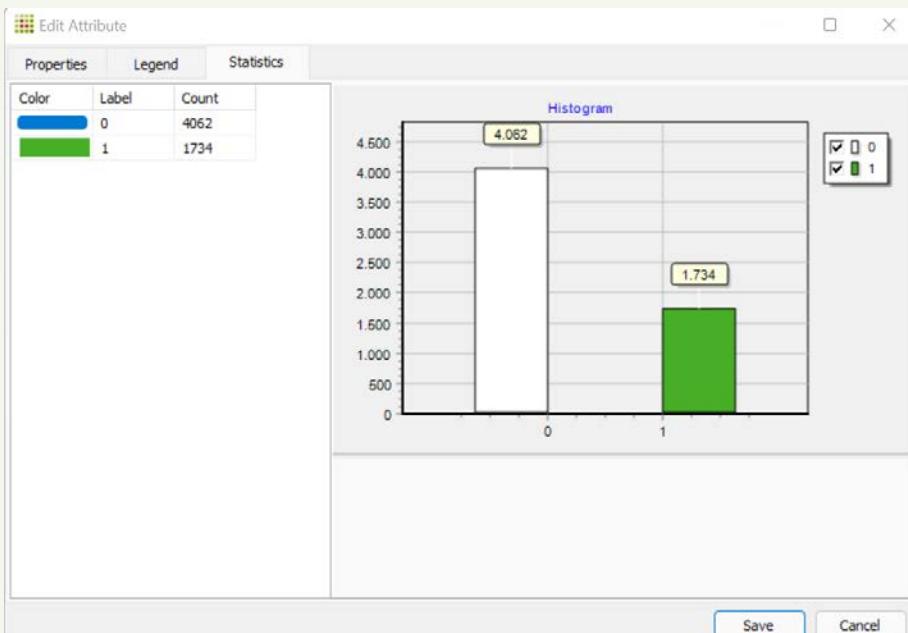


Figura 13 - Janela de estatísticas do atributo.

Associado às propriedades de cada atributo existe um grid com valores numéricos que pode ser editado diretamente no CityCell. A edição dos dados raster é feita através do Grid Editor, selecionado através do comando **Edit Grid** na barra de ferramentas Atributos.

Ao clicar na ferramenta, o atributo selecionado entra em modo de edição (Figura 14). Neste modo, a barra de ferramentas Editor é apresentada logo abaixo da barra de ferramentas Visualização (Figura 15).

As ferramentas disponíveis estão descritas na Tabela 4.

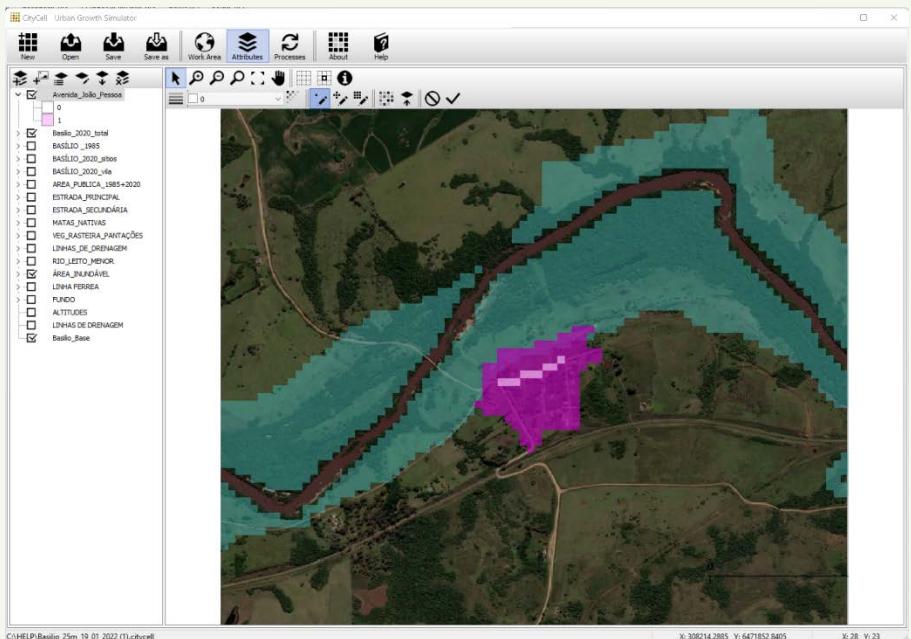


Figura 14. Grid em modo de edição.



Figura 15. Barra de ferramentas Editor.

Para desenhar o grid, basta selecionar um valor na legenda  e pintar as células correspondentes. Como referência para o desenho, os outros grids podem ser visualizados simultaneamente, na combinação que for mais conveniente. A importação de grids externos permite aproveitar levantamentos preexistentes feitos em SIG (Sistema de Informação Geográfica), sem a necessidade de redesenhar os atributos.

Para finalizar, basta clicar em **Confirmar** ou **Cancelar**.

FERRAMENTA	ÍCONE	DESCRIÇÃO
Edit Legend		Abre a janela de formatação de legenda
Opacity		Permite selecionar a opacidade do grid
Current Value		Seleciona o valor a ser atribuído às células no momento do desenho
Point Cursor		Cursor em forma de ponto – apenas a célula selecionada será pintada
Cross Cursor		Cursor em forma de cruz – a célula selecionada mais as 4 adjacentes serão pintadas
Square Cursor		Cursor em forma de quadrado – a célula selecionada mais as 8 adjacentes serão pintadas
Random Grid		Preenche o grid com valores aleatórios
Paint Bucket		Permite pintar grandes áreas delimitadas
Import Grid		Importa um grid produzido em software externo de SIG, em formato TXT ou GeoTIFF
Cancel		Cancela a edição, descartando as alterações
Confirm		Confirma a edição e salva as alterações

Tabela 4 - Barra de ferramentas Editor.

#### DICAS PARA DAR INÍCIO A UM PROJETO:

- Pensar no território que será simulado e quais são os atributos fundamentais para a simulação;
- Atributos discretos de resistência não devem se sobrepor na mesma célula (ex.: rios e matas), de modo a não impedir sua transformação nas simulações. O mesmo para atributos de atração.
- É importante que seja criado uma camada de “fundo” para a região de trabalho com valores aleatórios, evitando que restem células vazias nos processos de simulação.
- É possível visualizar a superposições de atributos nas mesmas células, usando a ferramenta de opacidade.

O grid randômico conta com três funções principais:

1. **Preenchimento** da área de trabalho com algum atributo;
2. Aumento da **complexidade** da simulação;
3. **Complexidade** das bordas da simulação.

Para a criação do grid randômico é utilizada a função de **Random Grid**, delimitando um valor inicial e um valor final (Figura 16).

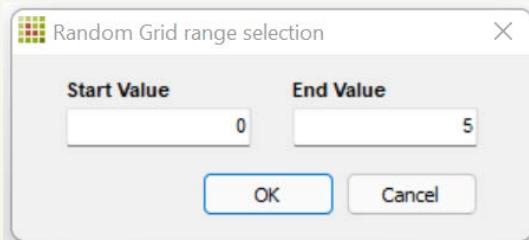


Figura 16. Janela Random Grid.

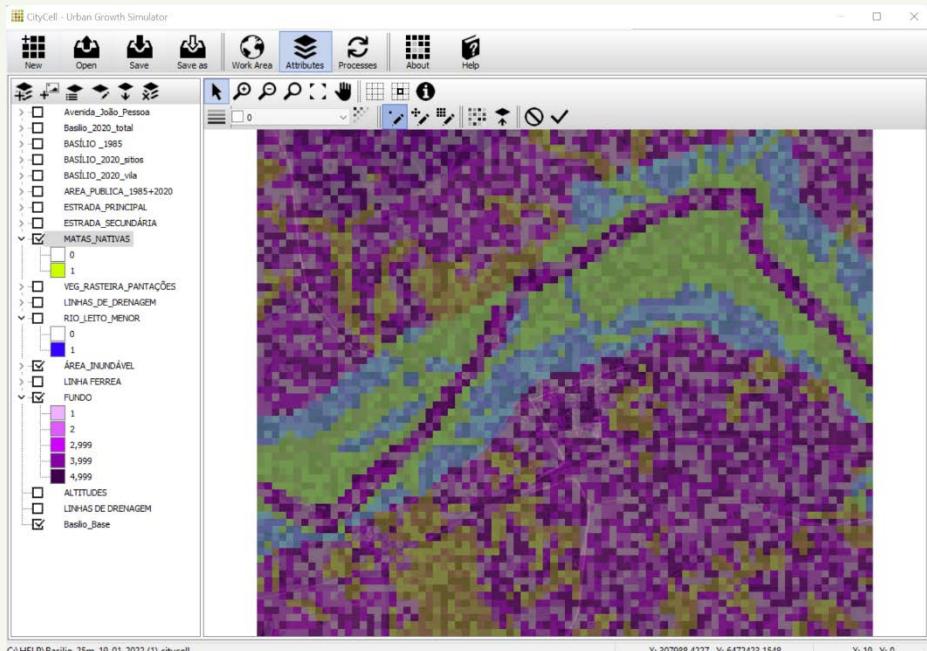


Figura 17. Exemplo de grid randômico.

### 3. CRIANDO OS PROCESSOS DE SIMULAÇÃO

Esta etapa consiste na criação de Processos de simulação de crescimento urbano, que contêm as configurações definidas pelo usuário. Os processos são acessados a partir do comando **Processes**, na barra de ferramentas principal. No modo Processos, a janela do CityCell é dividida em dois painéis: à esquerda, a listagem dos processos existentes; à direita, as informações do processo selecionado (Figura 18).

Sobre a listagem de processos, existe uma barra de ferramentas com as opções de gerenciamento de processos (Figura 19), cujas ferramentas estão descritas na Tabela 5.

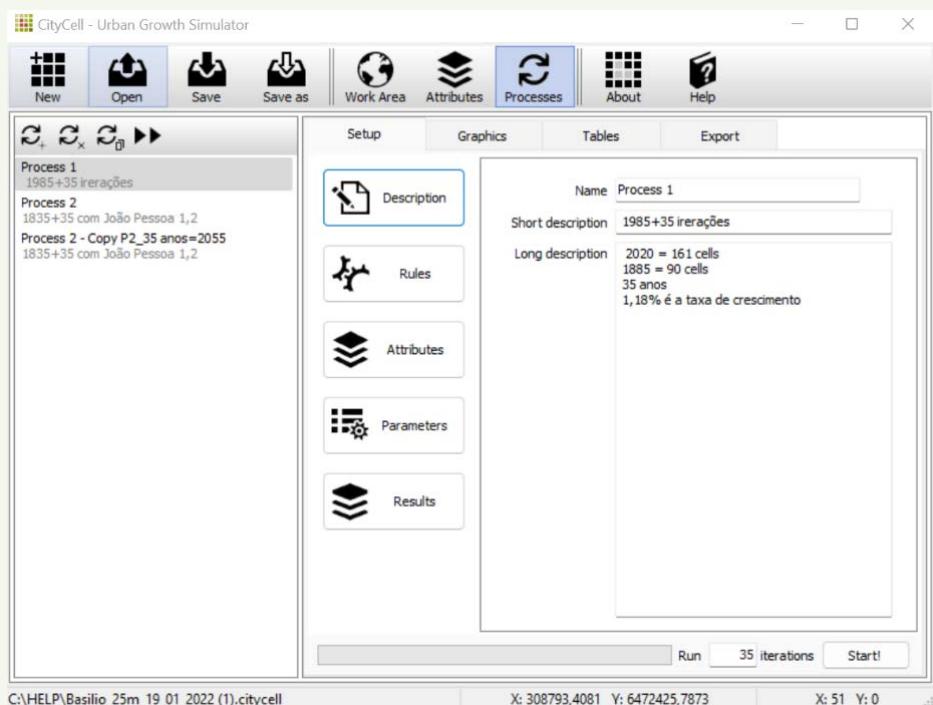


Figura 18 – Janela do CityCell no modo Processos.



Figura 19 – Barra de ferramentas Processos.

FERRAMENTA	ÍCONE	DESCRIÇÃO
Add Process		Adiciona um novo processo
Remove Process		Remove o processo selecionado
Duplicate Processes		Duplica um processo já criado
Batch Run Processes		Execução de processos em lote

Tabela 5 - Ferramentas de gerenciamento de processos.

As informações do processo selecionado aparecem no painel central, divididas em quatro abas:

- a) Setup;
- b) Graphics;
- c) Tables e
- d) Export.

A aba **Setup** apresenta as configurações do processo selecionado (Figuras 20, 21, 22, 23, 24).

O conteúdo da aba Setup é dividido em cinco seções:

- a) **Process Description:** contém informações textuais sobre o processo, que podem ser preenchidas livremente pelo usuário;
- b) **Rules:** permite selecionar as regras de crescimento ativas;
- c) **Attributes:** permite selecionar características dos atributos específicas para o processo selecionado;
- d) **Parameters:** permite preencher os parâmetros relativos a cada regra ativa;
- e) **Results:** permite selecionar resultados gráficos a serem gerados.

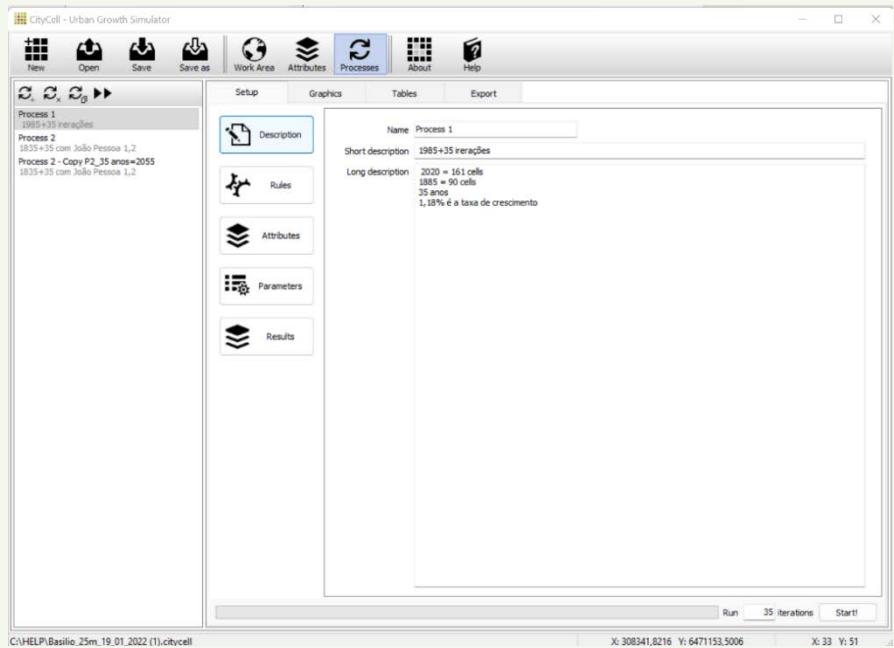


Figura 20 - Aba descrição do Processo.

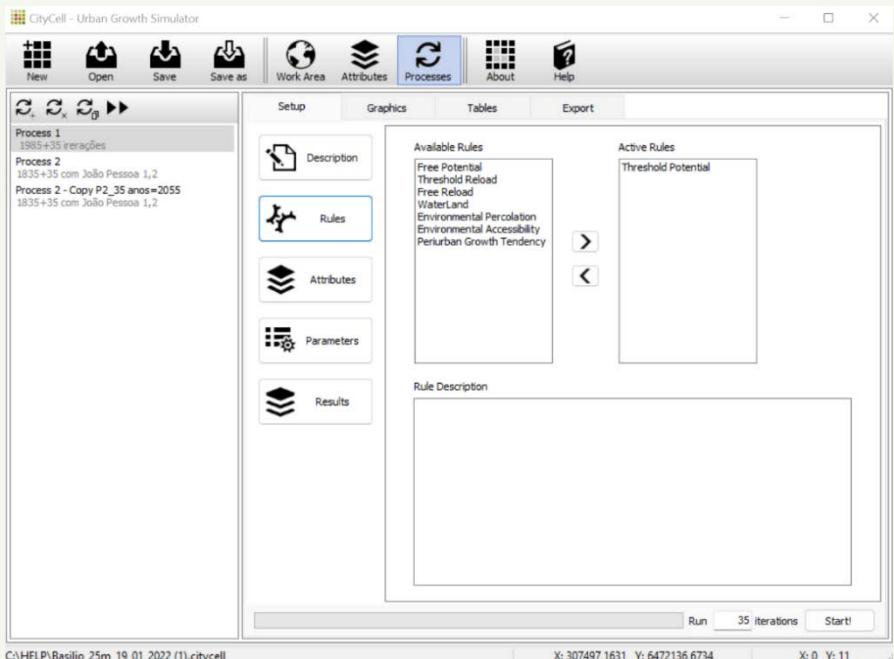


Figura 21 – Aba Regras.

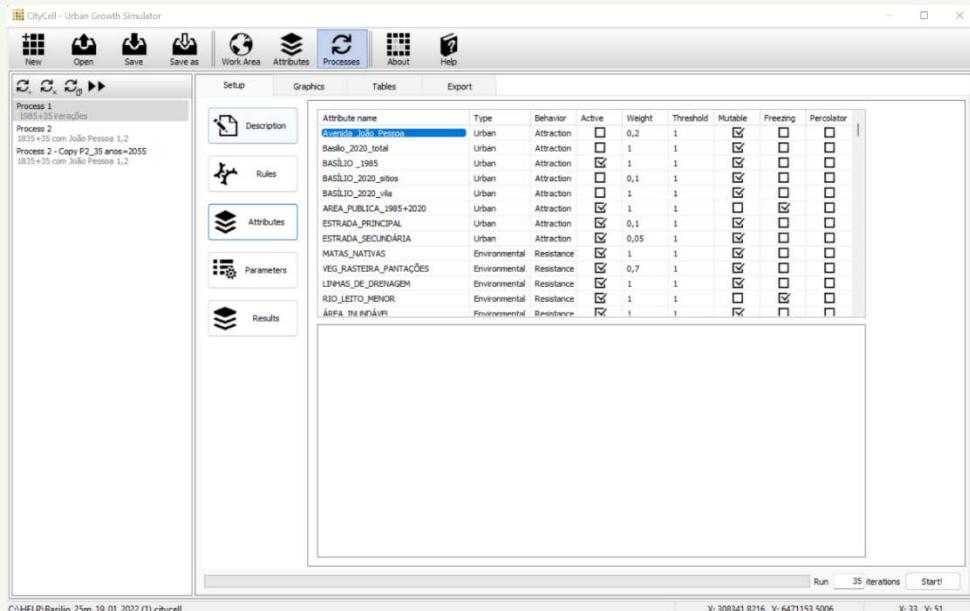


Figura 22 – Aba Atributos.

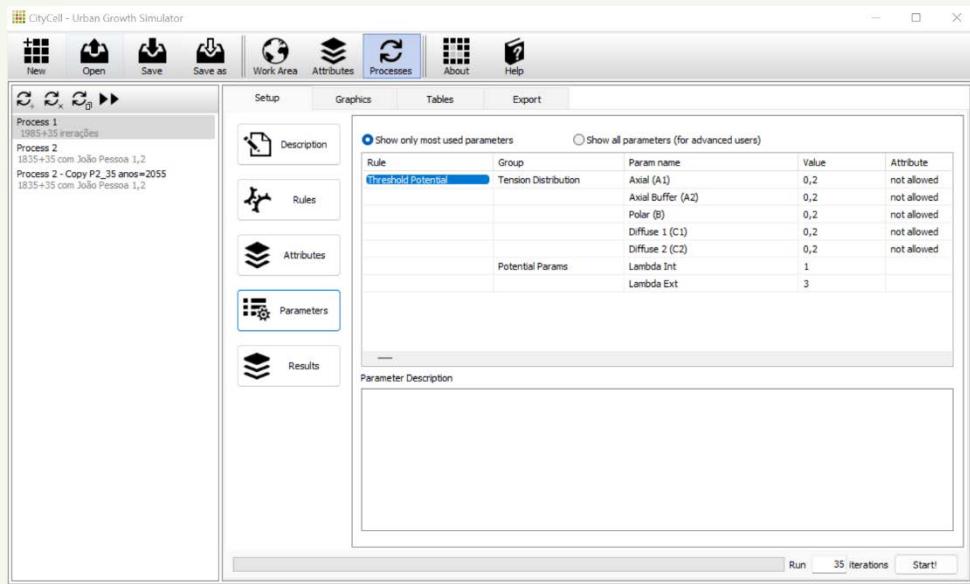


Figura 23 – Aba Parâmetros

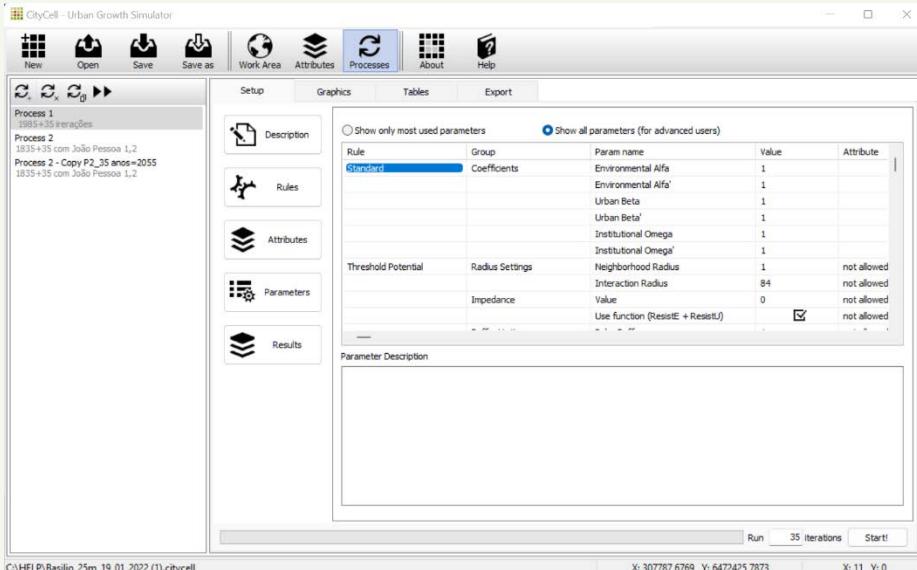


Figura 24 – Aba Parâmetros Avançados.

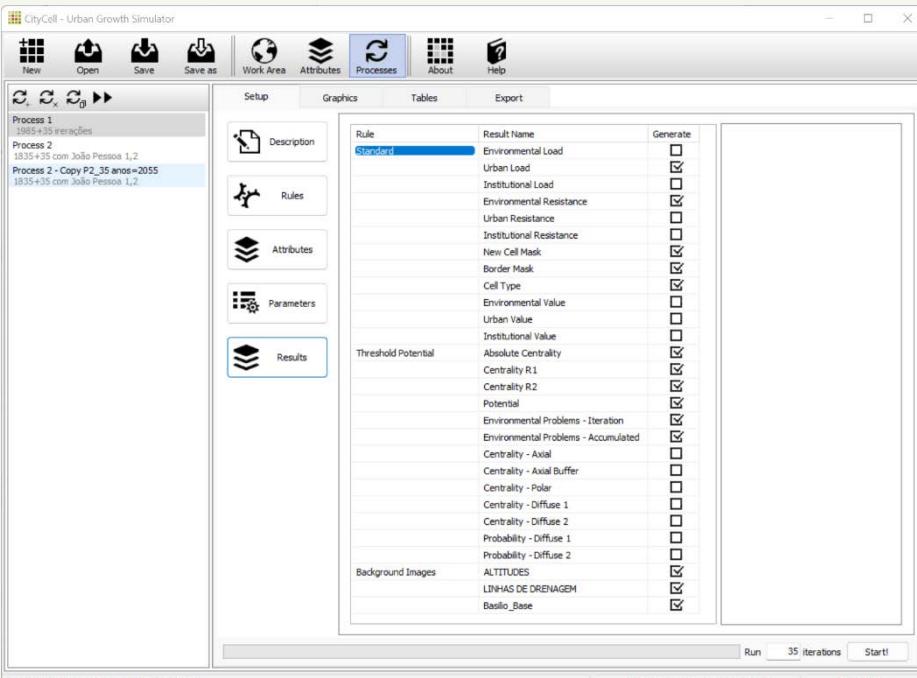


Figura 24 – Aba Resultados.

A aba **Graphics** apresenta as configurações do processo selecionado (Figura 25). As opções de processamento estão localizadas abaixo das configurações do processo. É possível selecionar o **número de iterações** desejadas e iniciar o processamento através dos botões **Start**, dando início ao processamento.

As funcionalidades referentes à visualização de resultados gráficos são as mesmas existentes na visualização dos atributos, com a adição da faixa de seleção da iteração para a visualização de resultados dinâmicos (Figuras 26 e 27).

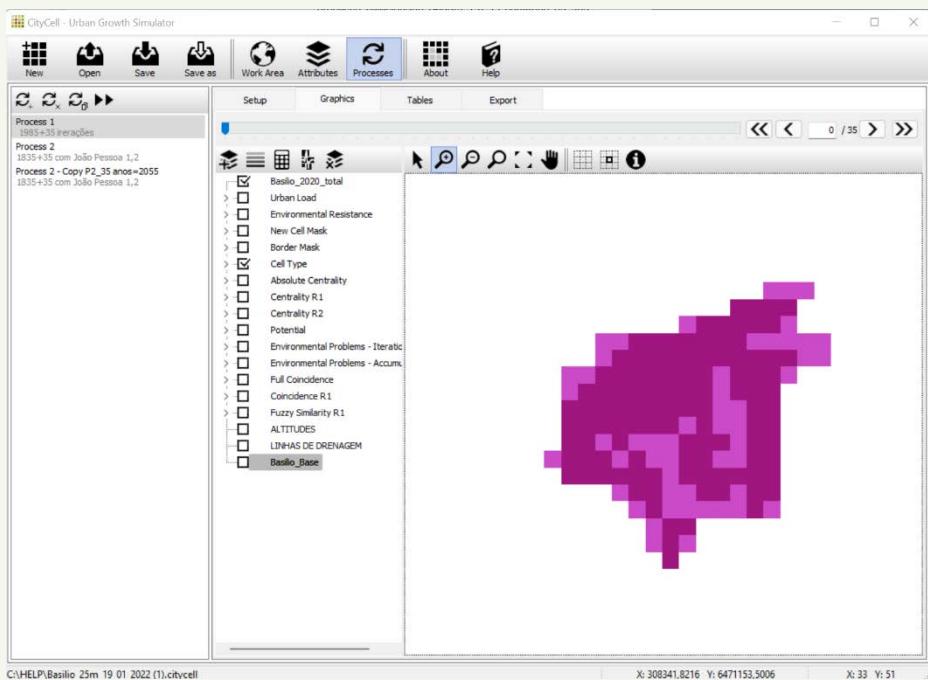


Figura 25 – Barra de Ferramentas Aba Graphics.

Figura 26 – Barra de Status da Simulação na Aba Setup.

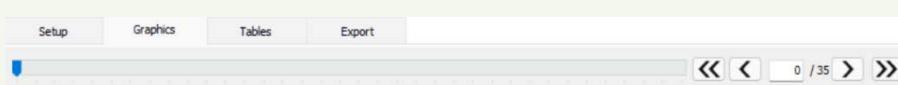


Figura 27 – Barra de Iterações do Processo de Simulação na Aba Graphics.

A simulação apresenta o crescimento da região através do número de iterações escolhidas pelo usuário. Nas imagens a seguir é possível acompanhar o desenvolvimento da área em um período comprrendido entre a iteração 0 (Figura 28) e 35 (Figura 29).

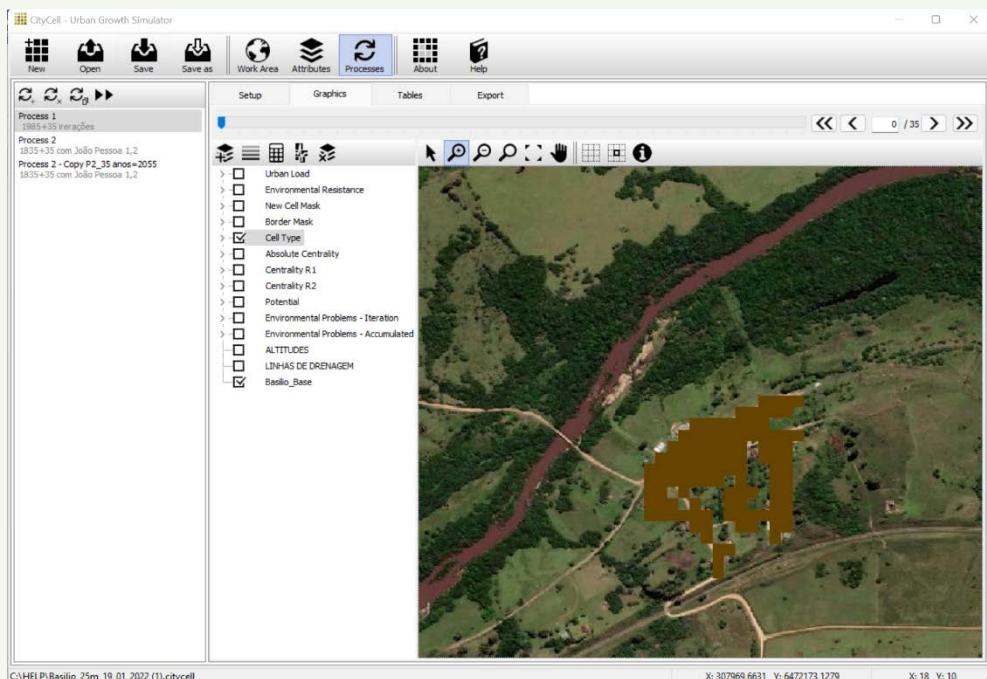


Figura 28 – Simulação representada na iteração 0.

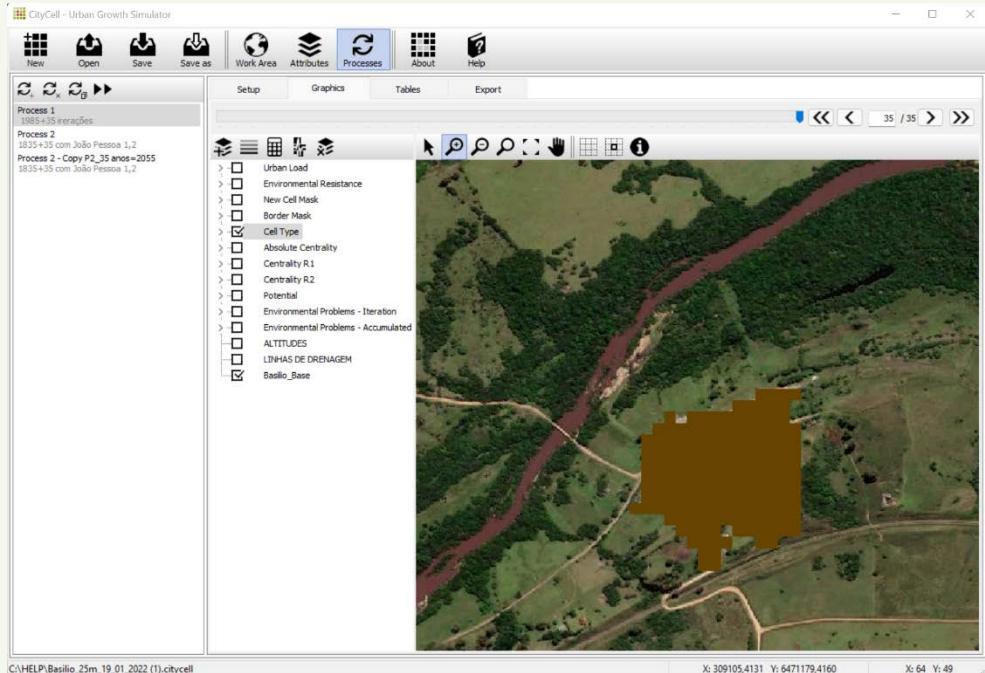


Figura 29 – Simulação representada na iteração 35.



Figura 30 – Barra de Ferramentas Aba Graphics.

FERRAMENTA	ÍCONE	DESCRIÇÃO
Add Attribute (as image)		Adiciona um atributo já criado para a listagem da aba graphics em forma de imagem
Edit Legend		Abre a janela de formatação de legenda
Raster Calculator		Permite adicionar uma expressão para ser calculada, obtendo o resultado no campo 'output'
Raster Analysis		Permite criar análise raster
Delete		Permite excluir o atributo selecionado

Tabela 6 - Ferramentas da aba Graphics.

A aba **Tables** representa dados acompanhados por um gráfico, com o objetivo de facilitar a visualização rápida dos resultados da simulação (Figura 31).

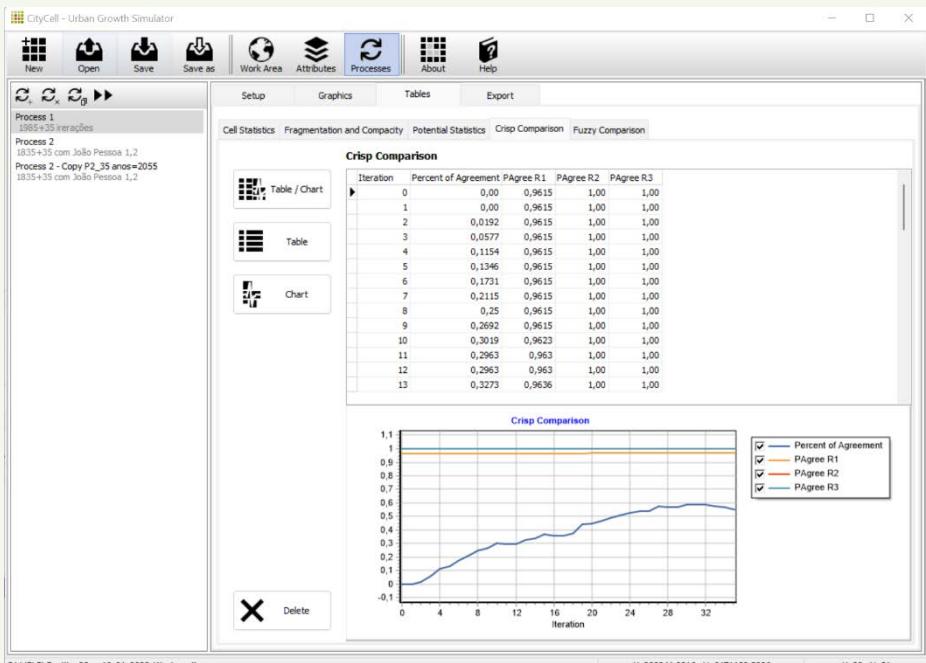


Figura 31 – Aba Tables

As diferentes séries estatísticas podem ser ligadas e desligadas pelo usuário, possibilitando a análise de qualquer variável separadamente ou em conjunto com outras. Há, ainda, o recurso de clicar duas vezes sobre o gráfico para abrir o mesmo em uma janela separada, com possibilidade de visualização em tela cheia, salvar o gráfico em disco ou copiar para a área de transferência para inserir posteriormente em outro aplicativo (Figura 32).

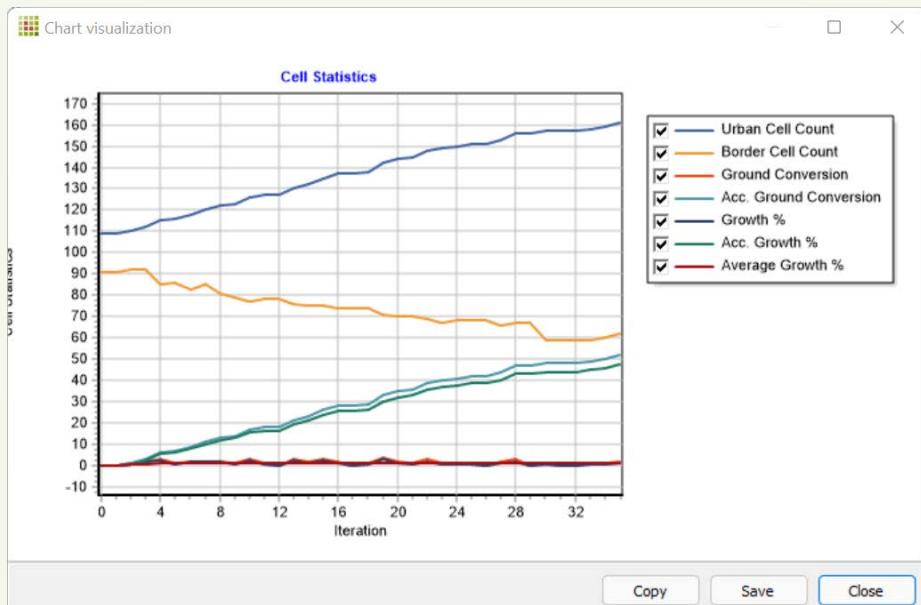


Figura 32 – Gráfico Aba Tables Aberto em Aba Separada.

A aba **Export** do processo selecionado contém as opções de exportação de dados (Figura 33).

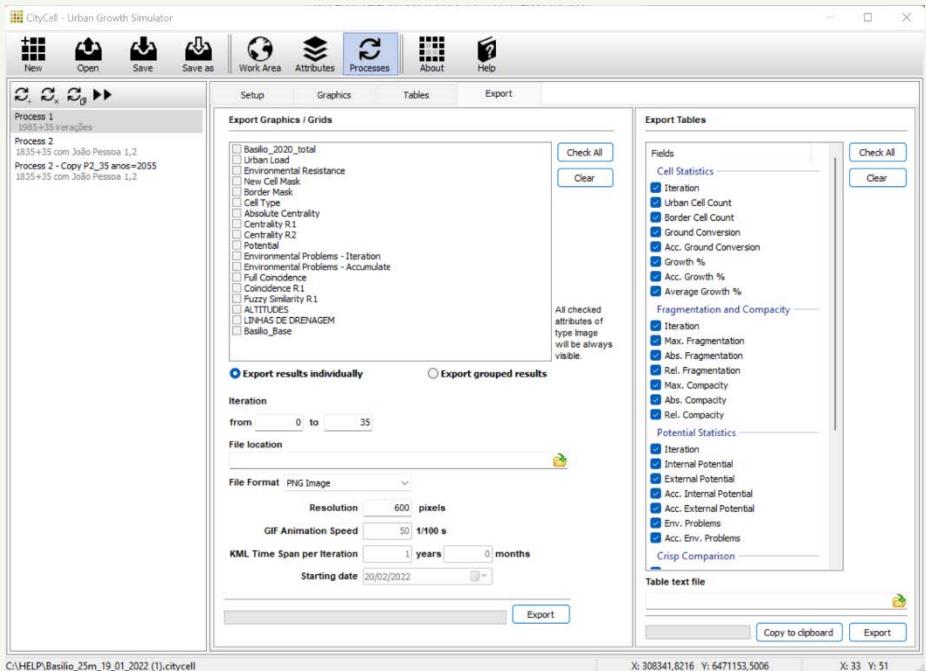


Figura 33 – Aba Export.

### 3.1 PARAMETRIZANDO O MODELO

A parametrização consiste na imputação de valores exógenos que regulam a dinâmica instaurada nas simulações, conforme os objetivos do experimento ou as demandas de calibração. Estão disponíveis no modelo parâmetros de dois tipos:

- a)** vinculados aos atributos que integram a descrição do território, os quais procuram representar seu comportamento em processos dinâmicos;
- b)** vinculados às regras de crescimento, os quais emulam fenômenos espaciais que interferem no crescimento da cidade.

As tabelas 7 e 8, na seqüência, resumem as possibilidades de parametrização.

## Resumo dos parâmetros vinculados aos atributos

Parâmetro	Parâmetro	Espectro	
<i>Limiar</i> <i>Threshold</i>	informar o limite de crescimento urbano por aumento de área construída ( <i>LoadU</i> , no modelo)	permite simular o aparecimento de problemas ambientais decorrentes de excesso de urbanização; permite também diferenciar subsistemas urbanos; permite ainda simular fragilidade ambiental e melhoramentos urbanos	0 a 100*
<i>Peso</i> <i>Weigth</i>	informar o grau de importância ou peso de cada atributo cadastrado na simulação	permite diferenciar os atributos qualitativamente, de modo independente da localização	1 a 100*
<i>Raio de interação</i> <i>Interation radius</i>	determinar o raio de alcance para as células que realizam interação espacial; é usado nos processos de interação espacial associados ao cálculo da centralidade celular	oferece a possibilidade de regular o grau de interação, abrangência de fluxos ou pregnância de trocas nas atividades urbanas de produção espacial, emulando o grau de compartimentação total do sistema	1 a $\infty$
<i>Raio de vizinhança</i> <i>Neighborhood Radius</i>	determinar o raio de alcance para as células que realizam crescimento por diferenciação de centralidade celular; é usado nos processos de CA – autômato celular que realizam o cálculo do potencial de crescimento celular	oferece a possibilidade de ajustar o tamanho da vizinhança no ambiente de CA – autômato celular, emulando a ocorrência de subsistemas locais	1 a $\infty$
$\alpha$ (alfa)	minimizar ou maximizar a resistência natural de um determinado sistema ou subsistema	permite valorizar iterativamente a ação de resistência dos atributos naturais; permite também individualizar subsistemas naturais, na cidade ou na região, conforme a escala do trabalho	$1/10^*$ a $10^*$
$\beta'$ (alfa-linha)	minimizar ou maximizar o carregamento natural de um determinado sistema ou subsistema	permite valorizar iterativamente a ação de atração dos atributos naturais; permite também individualizar subsistemas naturais, capazes de gerar tensões de crescimento urbano	$1/10^*$ a $10^*$

$\alpha$ (beta)	minimizar ou maximizar a resistência urbana de um determinado sistema ou subsistema	permite valorizar iterativamente a ação de resistência dos atributos urbanos; permite também individualizar subsistemas urbanos, na cidade ou na região, conforme a escala do trabalho	$1/10^* \text{ a } 10^*$
$\beta'$ (beta-linha)	minimizar ou maximizar o carregamento urbano de um determinado sistema ou subsistema	permite valorizar iterativamente a ação de atração dos atributos urbanos; permite também individualizar subsistemas urbanos, capazes de gerar atração ao crescimento urbano	$1/10^* \text{ a } 10^*$
$\alpha$ (omega)	minimizar ou maximizar fatores institucionais referidos como resistências	permite valorizar iterativamente a ação de resistência dos atributos institucionais; permite também ajustar a ação institucional como restritora de crescimento urbano	$1/10^* \text{ a } 10^*$
$\beta'(\omega\text{-linha})$	minimizar ou maximizar fatores institucionais referidos como carregamentos	permite valorizar iterativamente a ação de atração dos atributos institucionais; permite também ajustar a ação institucional como indutora de crescimento urbano	$1/10^* \text{ a } 10^*$
Impedância $I$ ( <i>Impedance</i> )	atribuir valores de impedância às células ou converter os valores de resistência natural e urbana em impedância	permite informar o grau de resistência aos fluxos que ocorrem na simulação, incidindo sobre tendências de conversão de solo não urbanizado em urbanizado	0 a $\infty$ ou $\Sigma$ das resistências

Tabela 7: resumo dos parâmetros vinculados aos atributos; valores com “\*” são recomendados como limites.

<input type="radio"/> Show only most used parameters	<input checked="" type="radio"/> Show all parameters (for advanced users)																																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rule</th><th>Group</th><th>Param name</th><th>Value</th><th>Attribute</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Standard</td><td>Coefficients</td><td>Environmental Alfa</td><td>1</td><td></td></tr> <tr> <td></td><td></td><td>Environmental Alfa'</td><td>1</td><td></td></tr> <tr> <td></td><td></td><td>Urban Beta</td><td>1</td><td></td></tr> <tr> <td></td><td></td><td>Urban Beta'</td><td>1</td><td></td></tr> <tr> <td></td><td></td><td>Institutional Omega</td><td>1</td><td></td></tr> <tr> <td></td><td></td><td>Institutional Omega'</td><td>1</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Rule	Group	Param name	Value	Attribute	Standard	Coefficients	Environmental Alfa	1				Environmental Alfa'	1				Urban Beta	1				Urban Beta'	1				Institutional Omega	1				Institutional Omega'	1	
Rule	Group	Param name	Value	Attribute																																
Standard	Coefficients	Environmental Alfa	1																																	
		Environmental Alfa'	1																																	
		Urban Beta	1																																	
		Urban Beta'	1																																	
		Institutional Omega	1																																	
		Institutional Omega'	1																																	

Figura 34 – Tabela de Parâmetros na Aba Setup.

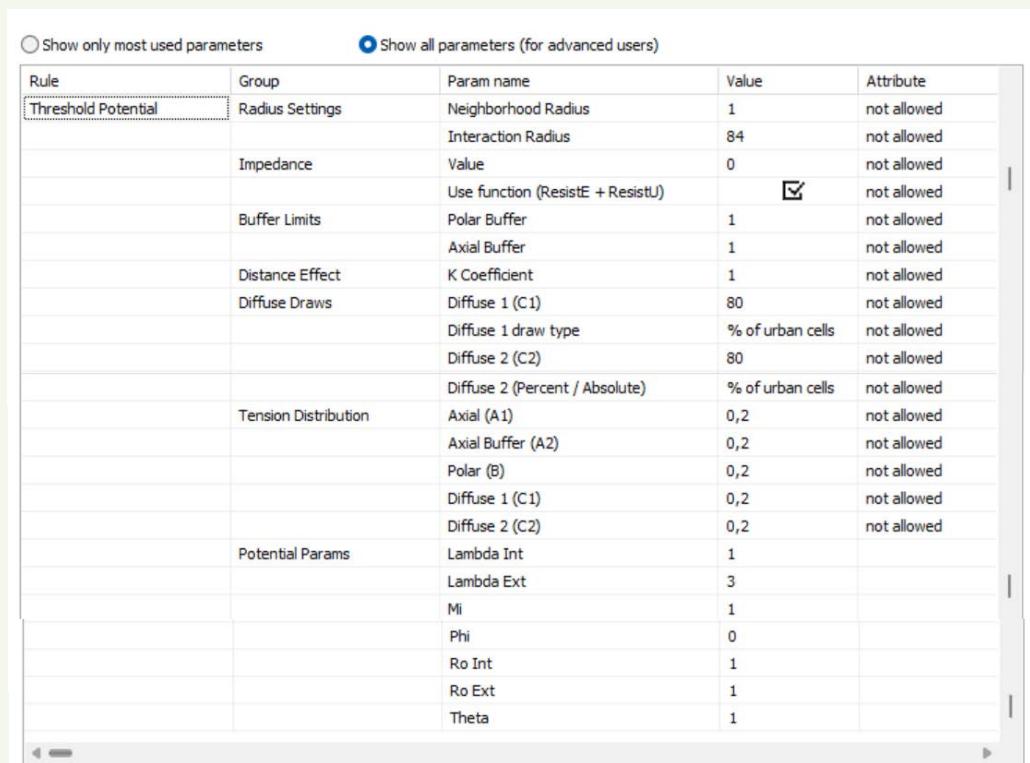
## Resumo dos parâmetros vinculados às regras de crescimento

Parâmetro	Função	Espectro	
X	especificar a porcentagem de distribuição de tensões axiais	conjuntamente com o valor de y, implementa crescimento estrutural na cidade, na escala global, com particular influência do sistema de fluxos	0 a 100 %
Y	especificar a porcentagem de distribuição de tensões axiais de buffer	conjuntamente com o valor de x, implementa crescimento estrutural na cidade, na escala global, representando uma área de abrangência lateral do sistema axial	0 a 100 %
Z	especificar a porcentagem de distribuição de tensões polares	implementa o crescimento na escala local, visando a área de influência de uma entidade do sistema	0 a 100 %
W	especificar a porcentagem de distribuição de tensões no modo difuso de tipo 1	implementa a promoção imobiliária formal, que “inventa” novos nichos de desenvolvimento e de mercado	0 a 100 %
Q	especificar a porcentagem de distribuição de tensões no modo difuso de tipo 2	implementa a promoção imobiliária informal, de modo dedicado o crescimento periférico, visando locais com menor valor do solo	0 a 100 %
$\rho(r_0)$ ext	definir a percentagem ou a quantidade de células externas à área urbana preexistente que podem ter crescimento a cada iteração	permite ajustar a velocidade de crescimento externo do sistema	0 a 1
$\rho(r_0)$ int	definir a percentagem ou a quantidade de células internas à área urbana preexistente que podem ter crescimento a cada iteração	permite ajustar a velocidade de crescimento interno do sistema	0 a 1

$\lambda$ (lambda) ext	descomprimir ou comprimir os valores de PoteCel de células externas à área urbana preexistente	permite ajustar o valor do potencial de crescimento urbano externo a diferentes cenários econômicos	1/10* a 10*
$\lambda$ (lambda) int	descomprimir ou comprimir os valores de PoteCel de células internas à área urbana preexistente	permite ajustar o valor do potencial de crescimento urbano interno a diferentes cenários econômicos	1/10* a 10*
$\mu$ (mi)	introduzir depreciação no valor das construções, em função do tempo	permite regular o declínio edilício decorrente do perpassar do tempo, bem como promover revitalização	0 a 2*
$\psi$ (phi)	especificar o valor do potencial mínimo a ser aplicado	permite ajustar padrões de formação de vazios urbanos orientados pela retenção fundiária	0 a 1
$\theta$ (teta)	especificar evolução intracelular das resistências naturais	emula crescimento interno de fatores naturais	0* a 100*
P	determinar existência e intensidade de dinâmica intercelular dos atributos naturais	emula um modo simplificado de dinâmica ambiental, por percolação	0 a 100*
PR	determinar o raio de vizinhança onde incide "P"	permite regular o alcance do crescimento por percolação	0 até $\infty$
Limite do buffer axial BLA (buffer limits axial)	informar o grau de abrangência da distribuição de tensões axiais	emula a abrangência do sistema viário	1 até $\infty$
Limite do buffer polar BLP (buffer limits polar)	informar o grau de abrangência da distribuição de tensões polares	emula a abrangência dos usos ou funções urbanas que atraem crescimento	1 até $\infty$
K (ka)	especificar a influência da distância entre as células geradoras de tensões	permite simular graus de eficácia de sistema de comunicação entre as células, emulando o sistema de circulação urbana na simulação	1* a 100*

DD <sub>1</sub> (diffusive draw 1)	regular a quantidade de células que serão sorteadas na distribuição de tensões aleatórias de tipo 1	permite ajustar o modelo ao grau de inovação empresarial a ser usado na simulação,	0 até $\infty$ -- ou %
DD <sub>2</sub> (diffusive draw 2)	regular a quantidade de células que serão sorteadas na distribuição de tensões aleatórias de tipo 2	permite ajustar o modelo ao grau de participação do mercado informal a ser usado na simulação	0 até $\infty$ -- ou %

Tabela 8: resumo dos parâmetros vinculados às regras de crescimento; valores com “\*” são recomendados como limites.



The screenshot shows a software interface with a table of parameters. At the top, there are two radio buttons: one for 'Show only most used parameters' (unchecked) and one for 'Show all parameters (for advanced users)' (checked). The table has columns for Rule, Group, Param name, Value, and Attribute. The 'Rule' column lists categories like Threshold Potential, Impedance, Distance Effect, Diffuse Draws, Tension Distribution, and Potential Params. The 'Group' column lists specific settings such as Radius Settings, Buffer Limits, and Potential Params. The 'Param name' column lists individual parameters like Neighborhood Radius, Interaction Radius, Value, Use function (checkbox checked), Polar Buffer, Axial Buffer, K Coefficient, Diffuse 1 (C1), Diffuse 1 draw type, Diffuse 2 (C2), Diffuse 2 (Percent / Absolute), Axial (A1), Axial Buffer (A2), Polar (B), Diffuse 1 (C1), Diffuse 2 (C2), Lambda Int, Lambda Ext, Mi, Phi, Ro Int, Ro Ext, and Theta. The 'Value' column contains numerical values or percentages, and the 'Attribute' column indicates whether a value is allowed to be changed.

Rule	Group	Param name	Value	Attribute
Threshold Potential	Radius Settings	Neighborhood Radius	1	not allowed
		Interaction Radius	84	not allowed
	Impedance	Value	0	not allowed
		Use function (ResistE + ResistU)	<input checked="" type="checkbox"/>	not allowed
	Buffer Limits	Polar Buffer	1	not allowed
		Axial Buffer	1	not allowed
	Distance Effect	K Coefficient	1	not allowed
	Diffuse Draws	Diffuse 1 (C1)	80	not allowed
		Diffuse 1 draw type	% of urban cells	not allowed
		Diffuse 2 (C2)	80	not allowed
		Diffuse 2 (Percent / Absolute)	% of urban cells	not allowed
	Tension Distribution	Axial (A1)	0,2	not allowed
		Axial Buffer (A2)	0,2	not allowed
		Polar (B)	0,2	not allowed
		Diffuse 1 (C1)	0,2	not allowed
		Diffuse 2 (C2)	0,2	not allowed
	Potential Params	Lambda Int	1	
		Lambda Ext	3	
		Mi	1	
		Phi	0	
		Ro Int	1	
		Ro Ext	1	
		Theta	1	

Figura 35 – Tabela de Parâmetros na Aba Setup.

## 3.2 CALIBRANDO O MODELO

A obtenção de calibragem do modelo consiste em obter uma melhor aproximação entre a simulação e realidade, obtida por correlações espaciais e aproximações sucessivas.

A calibração envolve dois procedimentos fundamentais:

- a) regulagem do tipo e crescimento, que é determinado pela percentagem de distribuição de tensões que é considerada uma variação qualitativa (Figura 36);
- b) regulagem da intensidade de crescimento, que é determinada pelo parâmetro  $\lambda$  (lambda) (Figura 37). Os demais parâmetros são deixados em suas posições padrão, de modo a neutralizar suas influências e permitir a detecção do efeito daqueles que estão sendo modificados.

O primeiro nível de aproximação de resultados entre simulação e realidade é visual, quando são eliminadas regulagens discrepantes e é estabelecido um conjunto de possibilidades de regulagens próximas do desejado.

### DICAS PARA MELHORAR A CALIBRAGEM E PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO:

- Rever áreas congeladas;
- Rever a força de atração dos atributos;
- Rever a resistência, presença ou ausência de atributos;
- Rever os pesos dos atributos.

**CityCell - Urban Growth Simulator**

Attribute name	Type	Behavior	Active	Weight	Threshold	Mutable	Freezing	Percolate
Área_Urba_Pessoas	Urban	Attraction	<input checked="" type="checkbox"/>	0,2	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Basilio_2020_total	Urban	Attraction	<input type="checkbox"/>	1	1			
BASILIO_1985	Urban	Attraction	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1			
BASILIO_2020_sobos	Urban	Attraction	<input checked="" type="checkbox"/>	0,1	1			
BASILIO_2020_via	Urban	Attraction	<input type="checkbox"/>	1	1			
AREA_PUBLICA_1985+2020	Urban	Attraction	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1			
ESTRADA_PRINCIPAL	Urban	Attraction	<input checked="" type="checkbox"/>	0,1	1			
ESTRADA_SECONDRÁRIA	Urban	Attraction	<input checked="" type="checkbox"/>	0,05	1			
MATAS_NATIVAS	Environmental	Resistance	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1			
VEG_RASTERIA_PANTANOS	Environmental	Resistance	<input checked="" type="checkbox"/>	0,7	1			
LINHAS_DE_DRENAGEM	Environmental	Resistance	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1			
RIO_LEITO_MENOR	Environmental	Resistance	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1			
ÁREA_INHABITATIVA	Environmental	Resistance	<input checked="" type="checkbox"/>	1	1			

Figura 36 – Aba atributos.

**CityCell - Urban Growth Simulator**

Rule	Group	Param name	Value	Attribute
TreeDeck_Potential	Tension Distribution	Axial (A1)	0,2	not allowed
		Axial Buffer (A2)	0,2	not allowed
		Polar (B)	0,2	not allowed
		Diffuse 1 (C1)	0,2	not allowed
		Diffuse 2 (C2)	0,2	not allowed
	Potential Params	Lambda Int	1	
		Lambda Ext	3	

Figura 37 – Aba Parameters.

### 3.3 VALIDANDO OS RESULTADOS

Para validar os resultados alcançados, é preciso legitimar os outputs em relação a alguma variável externa, sendo a utilização da evolução urbana pregressa o processo mais comum. Para isso é preciso implementar um estado passado da cidade e realizar simulações para o estado presente, medindo o grau de aproximação entre simulação e realidade. Para isso o City dispõe de ferramentas de comparação entre grids, na função “Raster Analisis”.



Figura 38 – Barra de Ferramentas Aba Graphics.

O ícone permite criar análise raster utilizando das seguintes lógicas apresentadas na Figura 39:

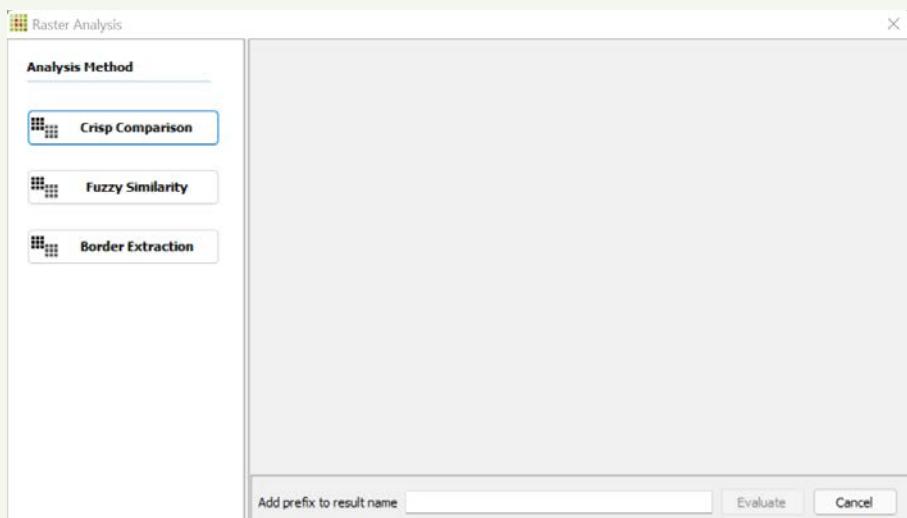


Figura 39 – Aba Raster Analysis.

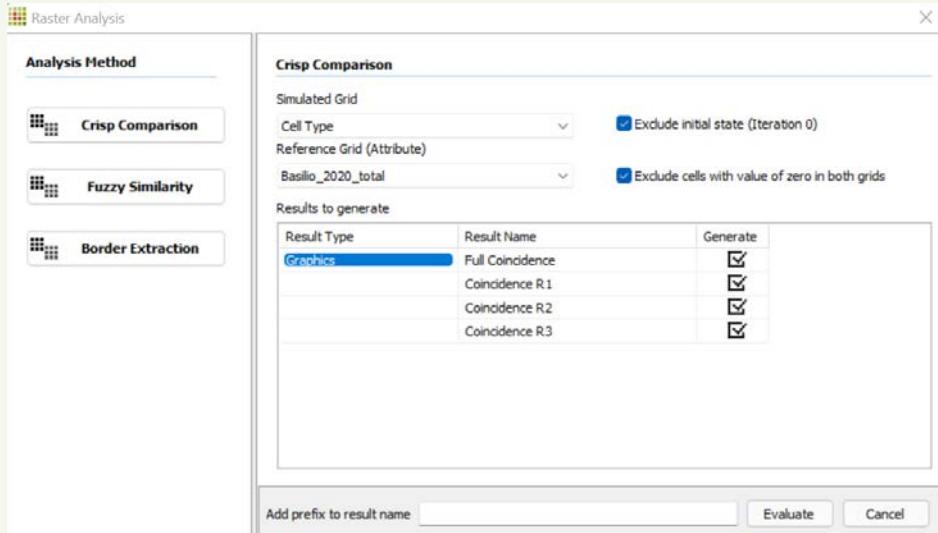


Figura 40 – Aba Crisp Comparison.

### 3.3.1 COMPARAÇÃO CRISP

Computa os acertos na simulação, permitindo considerar de zero a três células de distância como aproximação, para considerar cada acerto.

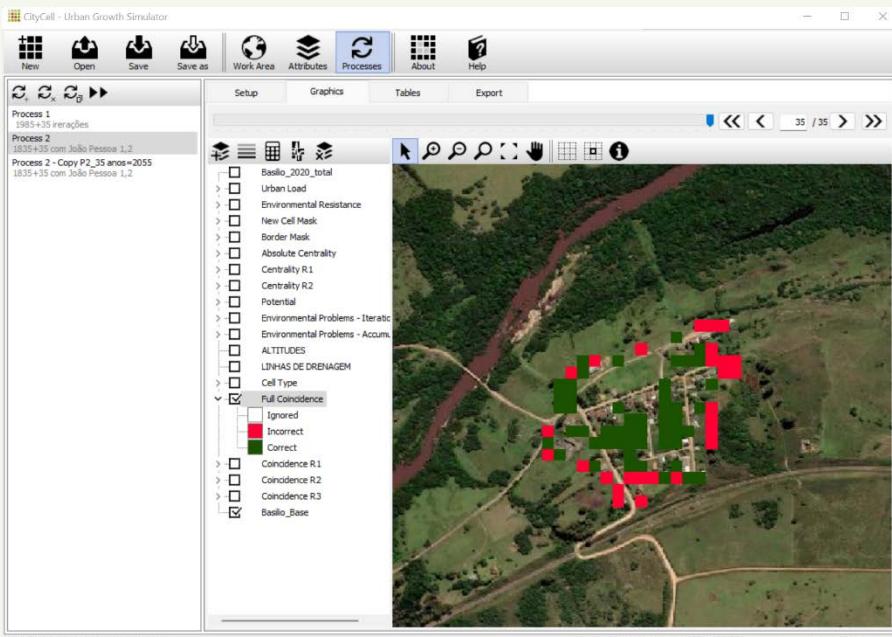


Figura 41 – Análise Crisp – Full Coincidence.

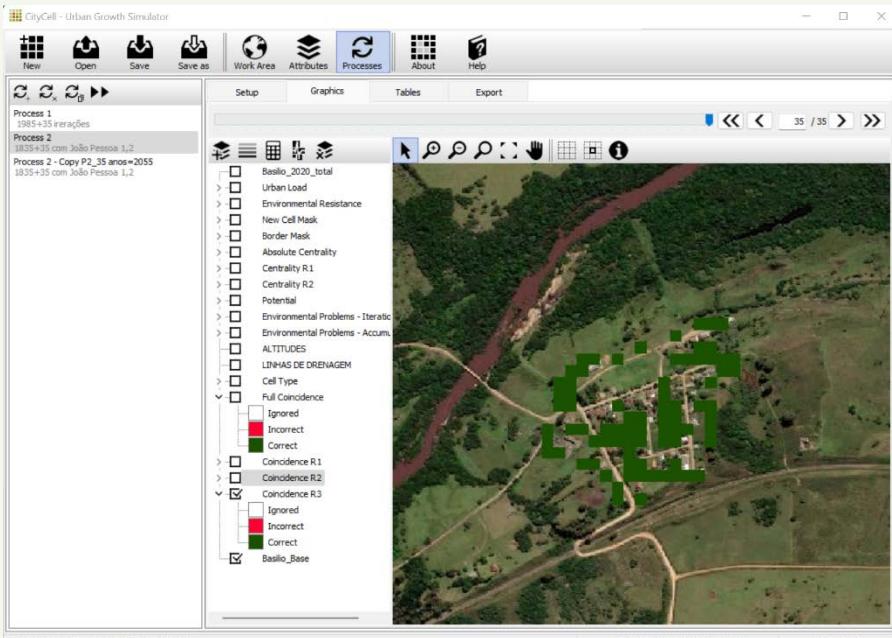


Figura 42 – Análise Crisp – Coincidence R3.

### 3.3.2 SEMELHANÇA DIFUSA (FUZZY)

Computa os acertos na simulação por aproximação, considerando 50%, 33% ou 25%, conforme a aproximação de uma, duas ou 3 células.

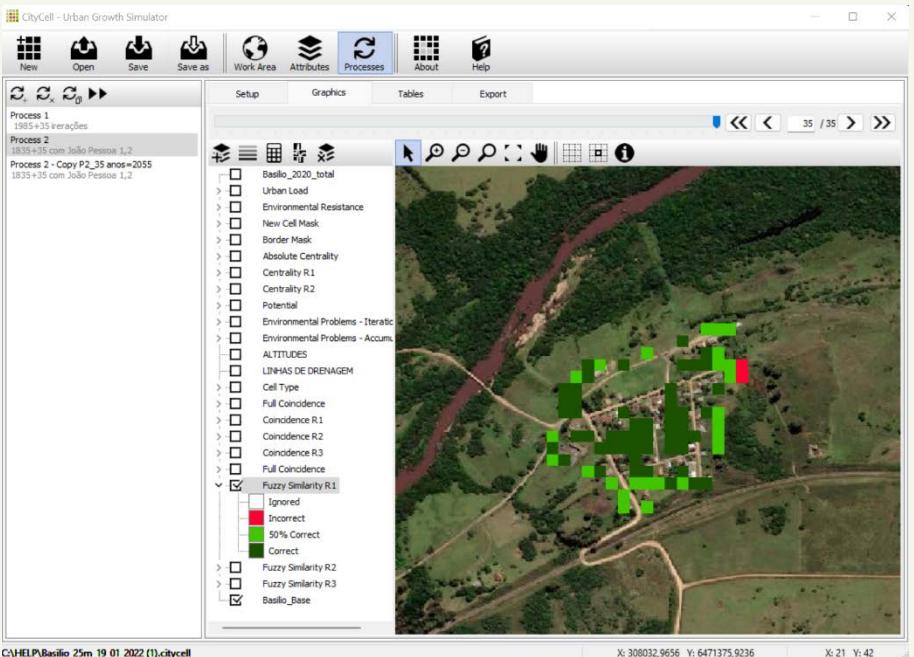


Figura 43 – Análise Fuzzy – Similarity R1.

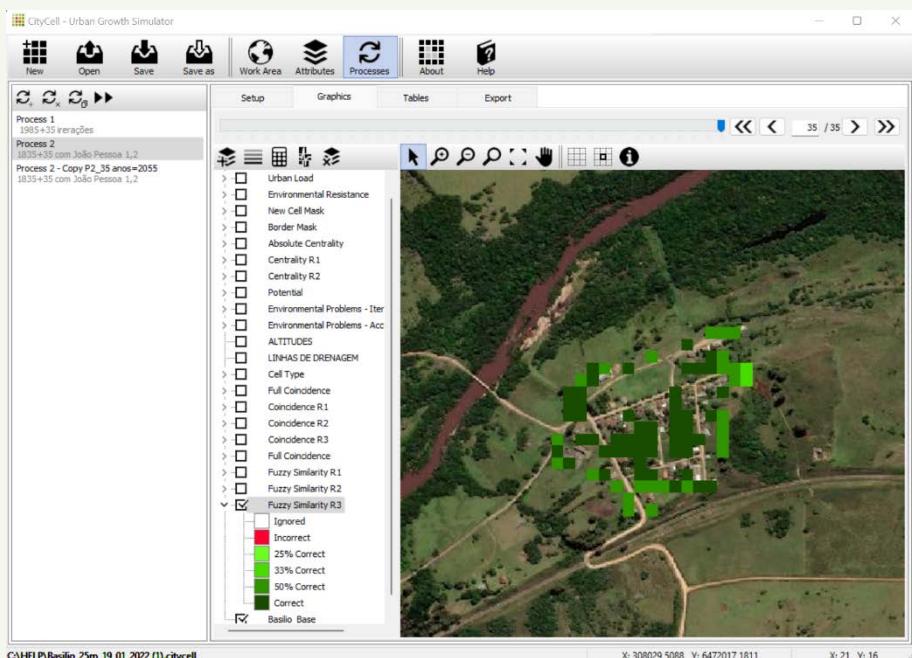


Figura 44 – Análise Fuzzy – Fuzzy Similarity R3.

### 3.3.3 BORDER EXTRACTION

Uma terceira ferramenta que aparece é chamada de “Border extraction”, que serve para conhecer as bordas do processo de simulação, em experimentos dedicados a essa questão.

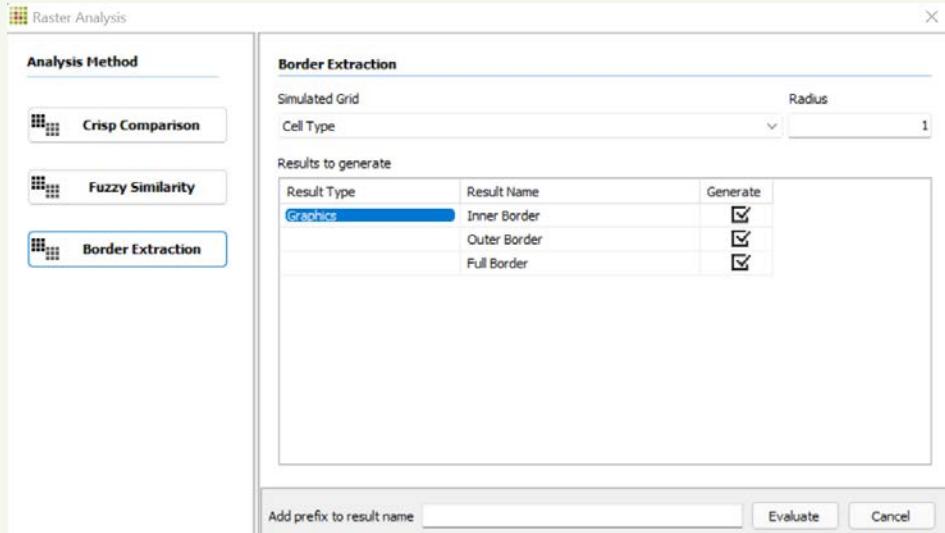


Figura 45 – Aba Border Extraction.

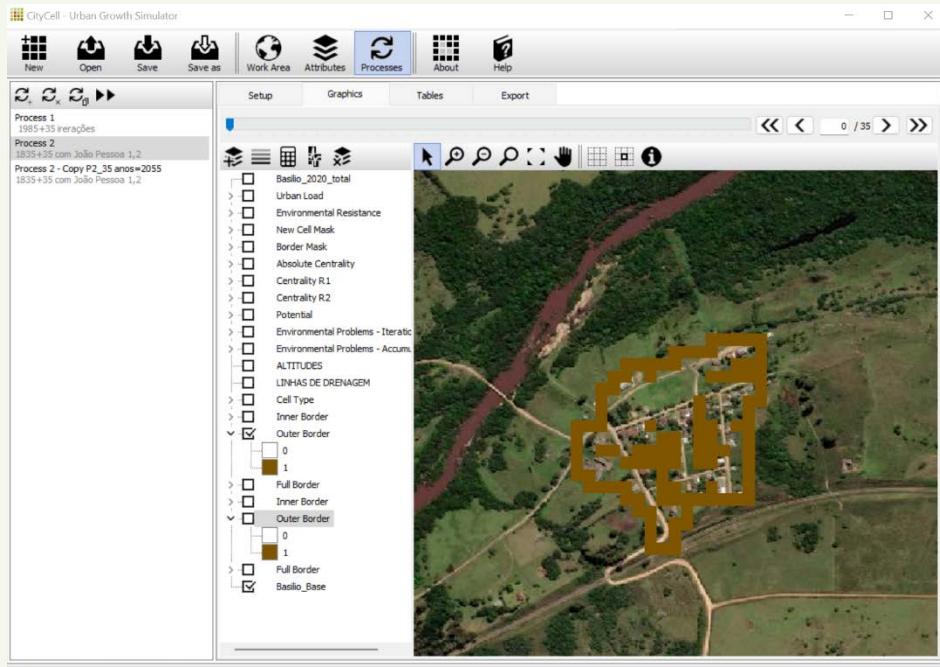


Figura 46 – Border Extraction utilizando raio “1”.

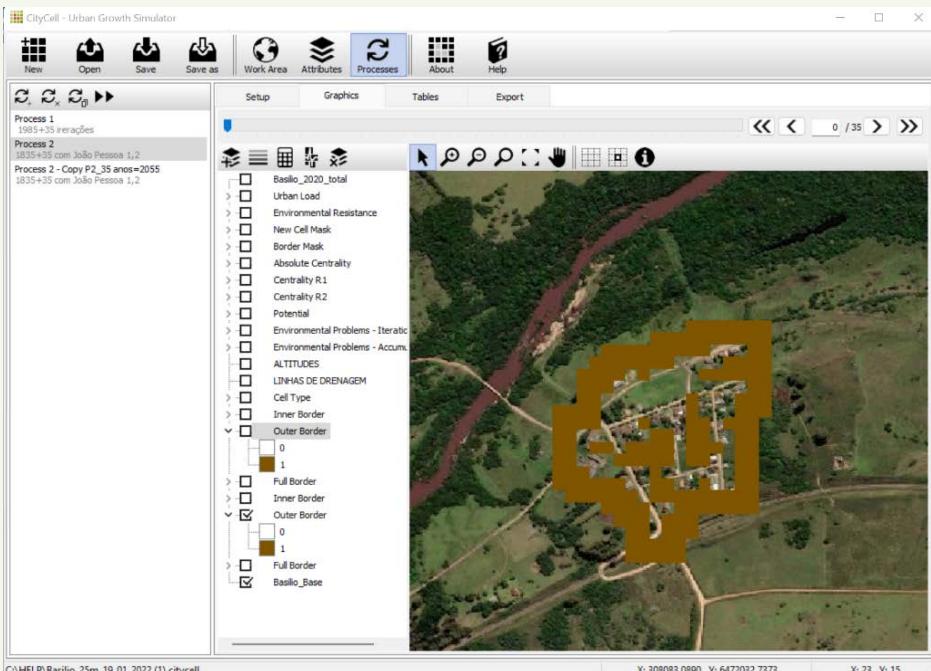


Figura 47 – Border Extraction utilizando raio “2”.

## 4. RESULTADOS

Os resultados emitidos são de dois tipos fundamentais:

- a) **dados gráficos**, no formato de grids e
- b) **dados tabulares**, no formato de tabelas.

Os grids informam os resultados geograficamente localizados e para cada célula do sistema, e podem ser acessados a partir da aba Graphics do processo selecionado. As funcionalidades referentes à visualização de resultados gráficos são as mesmas existentes na visualização dos atributos, com a adição da faixa de seleção da iteração para a visualização de resultados dinâmicos

As tabelas informam as medidas de crescimento urbano, potencial de crescimento, fragmentação e compacidade por iteração, e podem ser acessadas a partir da aba Tables do processo selecionado (figura 47).

São três tabelas com diferentes estatísticas referentes à simulação:

- a) **Cell statistics**, que apresenta as estatísticas referentes à contagem das células totais e de borda, conversão do solo e percentual de crescimento por iteração e acumulado;
- b) **Potential statistics**, que contém os dados sobre potencial de crescimento interno e externo, por iteração e acumulado, além de registro de problemas ambientais causados por superação de limiares;
- c) **Fragmentation/compacity**, que contém os cálculos de fragmentação e compacidade absolutas e relativas.

Caso o usuário tenha optado por Análises Raster (Crisp ou Fuzzy) também é possível gerar tabelas com os resultados.

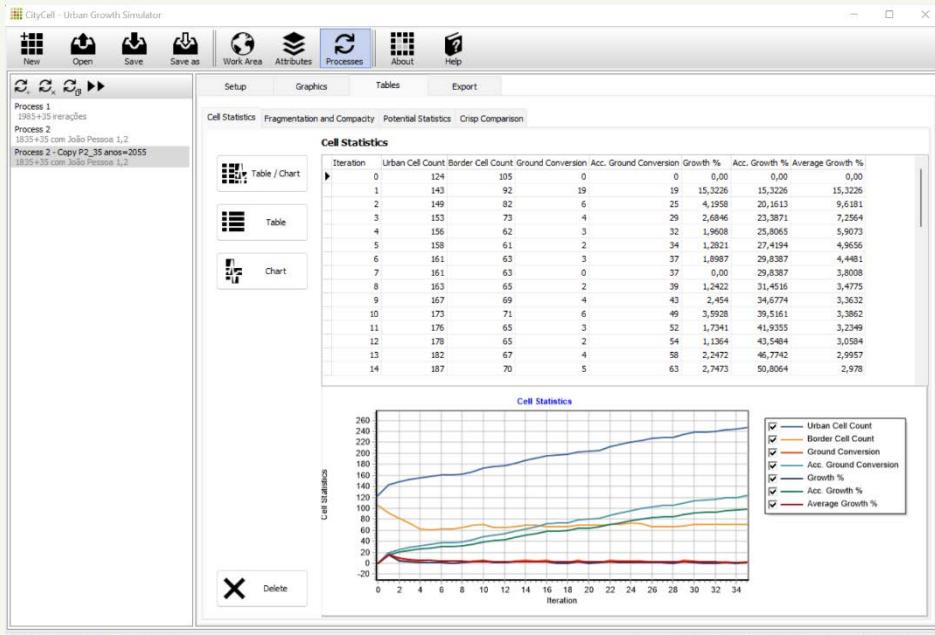


Figura 48 – Aba Tables – Resultados Cell Statistics.

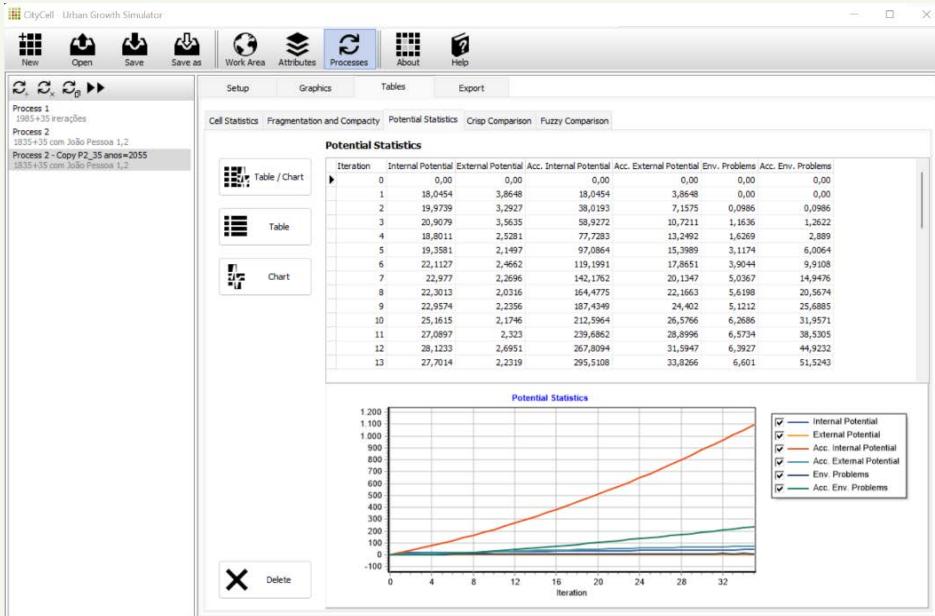


Figura 49 – Aba Tables – Resultados Potencial Statistics.

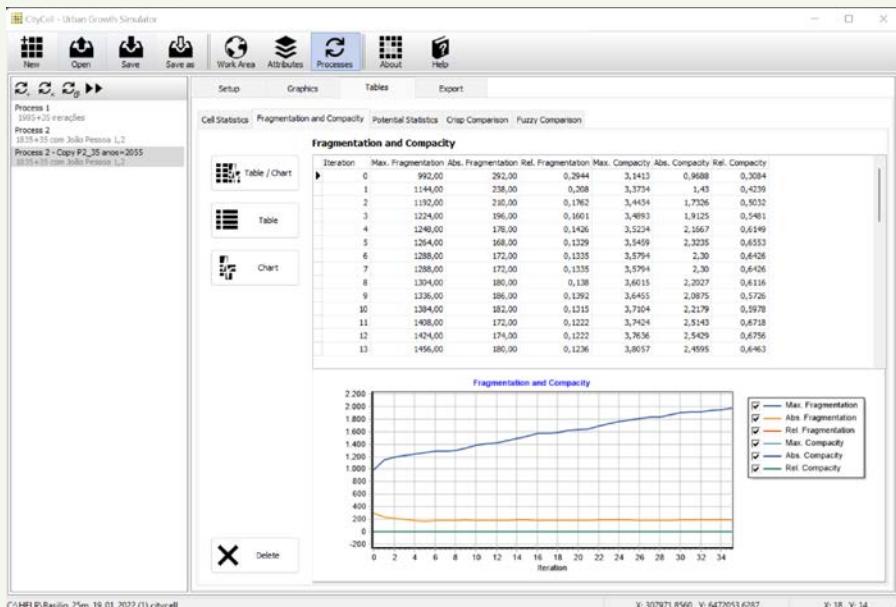


Figura 50 – Aba Tables – Resultados Potencial Statistics.

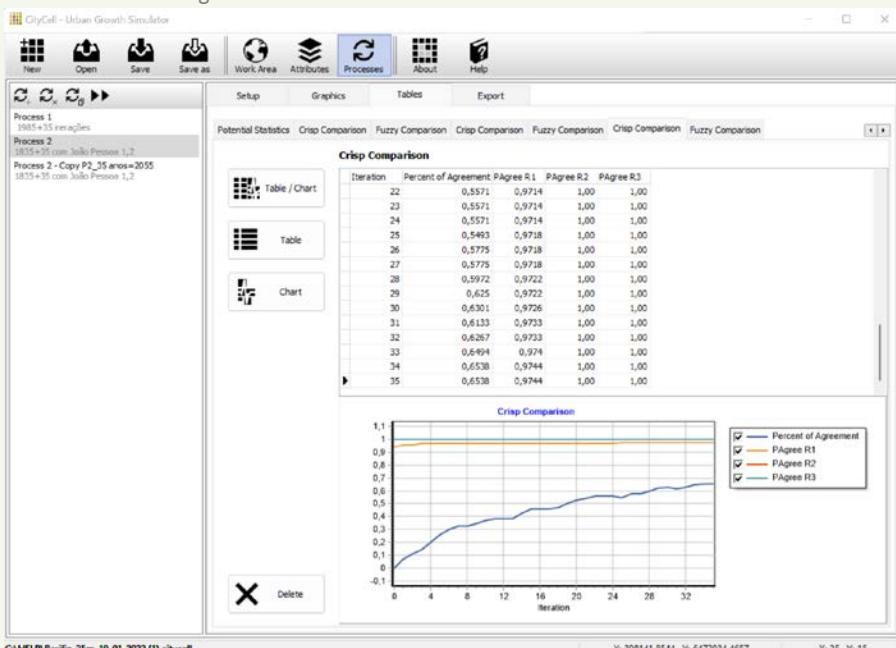


Figura 51 – Aba Tables – Resultados Crisp Comparison na iteração “35”.

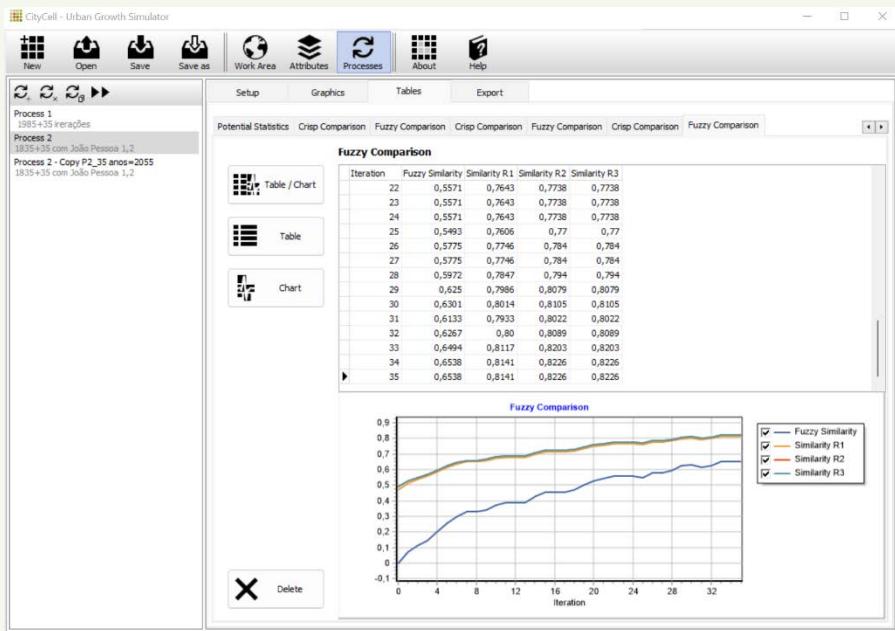


Figura 52 – Aba Tables – Resultados Fuzzy Comparison na iteração “35”.

## 5. EXPORTANDO RESULTADOS

O CityCell permite a exportação de resultados em diversos formatos, tanto para a utilização na produção de relatórios e apresentações como para o uso em SIGs. A aba **Export** do processo selecionado contém as opções de exportação de dados, agrupadas em três painéis:

- a) Graphics;
- b) Grids;
- c) Tables

O painel **Graphics** permite exportar as visualizações dos resultados em diversos formatos gráficos, tanto em imagens estáticas como em animações no formato GIF. Além disso, as visualizações podem ser exportadas para o formato KML, compatível com o software Google Earth.

O painel **Grids** permite exportar os dados para formatos raster compatíveis com outros softwares de SIG, possibilitando a inserção de resultados de simulações de crescimento em mapas temáticos e a realização de análises espaciais avançadas.

O painel **Tables** permite exportar os dados tabulares em formatos compatíveis com as principais planilhas eletrônicas disponíveis. Os dados podem tanto ser salvos em disco como copiados para a área de transferência do sistema operacional.

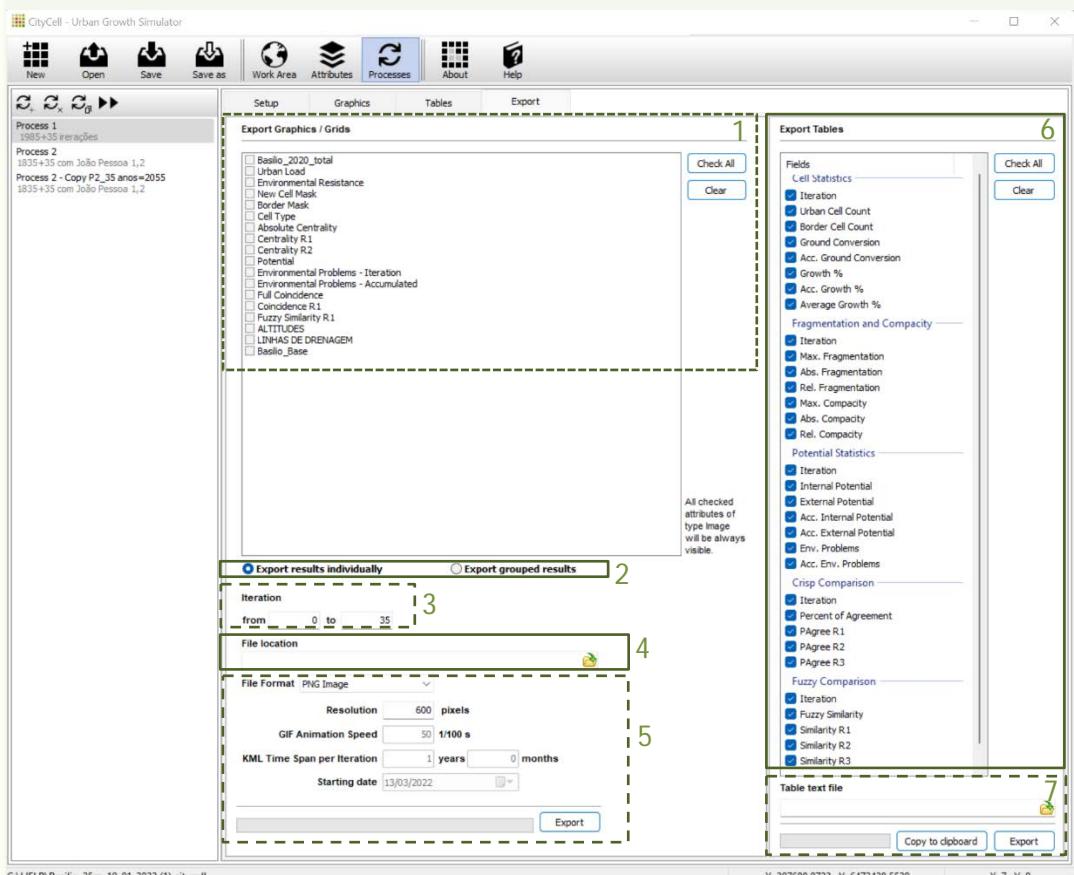


Figura 53 – Aba Export.

O usuário pode escolher quais camadas deseja exportar (1). Sendo possível escolher a exportação de resultados individualmente ou agrupados (2). Também é possível escolher o intervalo de iterações que deseja que seja incluído como resultado (3). Com estas condições definidas, o usuário deve escolher o local onde deseja salvar os resultados (4)

O usuário pode escolher salvar os resultados em diversos formatos (5): Optando por salvar em PNG o usuário irá salvar imagens estáticas; Optando por salvar em GIF é possível salvar imagens animadas; o formato KML é usado

para visualizações no GoogleEarth; ASC II é usado para abrir em outros bancos de dados; salvando como GRID for correlation é possível usar os resultados para calcular correlações noutros programas.

Ao optar por salvar em formatos de imagens (PNG, GIF ou KML) o usuário deve escolher a resolução da imagem a ser salva de acordo com sua necessidade. Além disso, no caso do GIF animado é preciso escolher o tempo de duração de cada slide.

É possível exportar os resultados também na forma de tabelas (6). Basta o usuário selecionar as informações que deseja incluir na listagem e definir um local para salvar o arquivo de texto (7) e clicar em Export.

## **6. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA**

POLIDORI, Maurício Couto (2004c). **Crescimento urbano e ambiente – Um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade.** Tese de Doutorado. Porto Alegre: UFRGS – PPGECO. 352 p.

PERES, Otavio M.. **Crescimento Urbano e Recursos Hídricos: dinâmicas morfológicas e articulação à paisagem natural.** 2010 (Dissertação de Mestrado.).

TORALLES, C. P.. **Cidade e crescimento periférico: modelagem e simulação da formação de periferias urbanas com autômatos celulares.** 2013 (Dissertação de Mestrado.).

SANTOS, A. P.. **O lugar dos pobres na cidade: Crescimento urbano e localização da baixa renda vista através da modelagem por agentes.** 2015 (Dissertação de Mestrado.).

SARAIVA, M. V. P.. **Simulação de crescimento urbano em espaços celulares com uma medida de acessibilidade: método e estudo de caso em cidades do sul do Rio Grande do Sul.** 2013 (Dissertação de Mestrado.).

BAUMBACH, Flavio Almansa. **Dinâmicas de crescimento urbano e áreas alagáveis em cidades de fronteira entre Brasil e Uruguai.** 2021 (Dissertação de Mestrado.).

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTI, M.; MARZLUFF, J. M.; SCHULENBERGER, E.; BRADLEY, G.; RYAN, C.; ZUMBRUNNEN, C. Integrating humans into ecology: opportunities and challenges for studying urban ecosystems.

**BioScience**, 53, n. 12, Dezembro 2003. 1169-1179.

ALMEIDA, C. M. D. **Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil.** Tese de Doutorado INPE. São José dos Campos, p. 351. 2003.

ARENTE, T. A.; BORGERS, A. W. J.; TIMMERMANS, H. J. P. Geographical information systems and

the measurement of accessibility in the context of multipurpose travel: a new approach. **Geographical Systems**, 1, 1994. 87-102.

BALLOBÁS, B. **Modern graph theory:** graduate texts in mathematics. New York: Springer, 1998.

BATTY, M. **Urban modelling:** algorithms, calibrations, predictions. Cambridge: Cambridge University Press, 1976. 381 p.

BATTY, M. Cellular automata and urban form: a primer. **Journal of the American Planning Association**, 63, 1997. 266-274.

BATTY, M. Urban evolution on the desktop: simulation with the use of extended cellular automata. **Environment and Planning A**, 30, n. 11, 1998. 1943-1967.

BATTY, M. Cities as complex systems: scaling, interactions, networks, dynamics and urban morphologies. **CASA Working Papers**, London, 2008. Disponível em: <[http://www.casa.ucl.ac.uk/working\\_papers/paper131.pdf](http://www.casa.ucl.ac.uk/working_papers/paper131.pdf)>. Acesso em: 30 jun. 2011.

BATTY, M. Urban Modelling. **International Encyclopedia of Human Geography**, 2009.

- BENENSON, I.; TORRENS, P. M. **Geosimulation**: automata-based modeling of urban phenomena. Chichester: Wiley, 2004. 287 p.
- BENEVOLO, L. **A história da cidade**. 3a edição. ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 1983. 729 p.
- BENGUIGUI, L.; CZAMANSKI, D.; ROTH, R. Modeling cities in 3D: a cellular automaton approach. **Environment and Planning B: Planning and Design**, 35, n. 3, 2008. 413-430.
- BERTOLINI, L.; CLERCO, F. L.; KAPOEN, L. Sustainable accessibility: a conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. Two test-applications in the Netherlands and a reflection on the way forward. **Transport Policy**, 12, 2005. 207-220.
- BOAVENTURA NETTO, P. O. **Grafos**: teoria, modelos, algoritmos. 4a. edição. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 328 p.
- BRIASSOULIS, H. Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches. **The web book of regional science**, Morgantown, 2000. Disponível em: <[www.rri.wvu.edu/web\\_book](http://www.rri.wvu.edu/web_book)>. Acesso em: 19 abr. 2011.
- BROOKS, C. M.; KAUFMANN, P. J.; LICHTENSTEIN, D. R. Trip chaining behavior in multi-destination shopping trips: a field experiment and laboratory replication. **Journal of Retailing**, 84, 2008. 29-38.
- BUNN, A. G.; URBAN, D. L.; KEITT, T. H. Landscape connectivity: a conservation application of graph theory. **Journal of Environmental Management**, 59, 2000. 265-278.
- BIBLIOTECA DO CAU/BR. Manuais e Orientações. Disponível em <<https://www.caubr.gov.br/biblioteca/>>. Acessado em maio de 2021.
- CARR, M. **New patterns**: process and change in human geography. Cheltenhan: Nelson Thornes, 1997. 525 p.

CLARK, W. Principles of Landscape Ecology. **Nature Education Knowledge**, 2, n. 2, 2010. 34.

CLARKE, K.; LEONARD, G. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. **International Journal of Geographical Information Sciences**, 12, 1998. 699-714.

COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, XX, n. 1, 1960. 37-46.

ECHENIQUE, M. Models: a discussion. **Land Use and Built Form Studies**, Cambridge, 1968.

FORRESTER, J. W. **Principles of systems**. Cambridge: Writh-Allen Press, 1968.

FREEMAN, L. C. A set of measures of centrality based on betweenness. **Sociometry**, 40, n. 1, 1977. 35-41.

GEURS, K.; RITSEMA VAN ECK, J. **Accessibility measures: review and applications**. RIVM Report n. 408505 006. Bilthoven, Holanda. 2001.

HAGEN, A. **Multi-method assessment of map similarity**. 5th AGILE Conference on Geographic Information Science. Mallorca: [s.n.], 2002. p. 8.

HAGGETT, P.; CHORLEY, R. **Network analysis in geography**. [S.l.]: St. Martins Press, 1970. 348 p.

HARVEY, D. **The urbanization of capital**. Oxford: Blackwells, 1985. 239 p.

HILLIER, B. **Space is the machine**: a configurational theory of architecture. Londres: Space Syntax, 2007. 355 p.

HILLIER, B.; HANSON, J. **The social logic of space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984. 367 p.

HOLLING, C. S. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. **Ecosystems**, 4, 2001. 390-405.

IBGE. Censo 2010, 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 15 julho 2011.

INGRAM, D. R. The concept of accessibility: a search for an operational form. **Regional Studies**, 5, 1971. 101-107.

JOHNSON, S. **Emergência**: a vida integrada de formigas, cérebros, cidades e softwares. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003. 231 p.

KANSKY, K. Structure of transport networks: relationships between network geometry and regional characteristics. **Research Paper n 84**, Chicago, 1963.

KLIR, G. **Facets of Systems Science**. New York: Plenum Press, 1991. 740 p.

KRAFTA, R. **Modernity in urban design is a function of decision support systems**. Making Better Places: Urban Design Now. [S.I.]: Oxford Brookes University. 1993.

KRAFTA, R. Modelling intra-urban configurational development. **Environment and Planning B: Planning and Design**, London, 21, 1994. 67-82.

KRAFTA, R. Spatial self-organization and the production of the city. **Urbana**, Caracas, 24, 1999. 49-62.

KRAFTA, R. **Análise espacial urbana:** aplicações na região metropolitana de Porto Alegre. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2009. 176 p.

LA MORGIA, V.; MALENOTTI, E.; BADINO, G.; BONA, F. Where do we go from here? Dispersal simulations shed light on the role of landscape structure in determining animal redistribution after reintroduction. **Landscape Ecology**, 26, 2011. 969-981.

LAMAS, J. M. R. G. **Morfologia urbana e desenho da cidade.** Lisboa: Dinalivro, 1993. 563 p.

LIU, J.; DIETZ, T.; CARPENTER, S.; ALBERTI, M.; FOLKE, C.; MORAN, E.; PELL, A.; DEADMAN, P.; KRATZ, T.; LUBCHENCO, J.; OSTROM, E. Complexity of coupled human and natural systems. **Science**, 317, 2007. 1513-1516.

LIU, Y. Modelling Urban Development with Geographical Information Systems and Cellular Automata. [S.I.]: Taylor and Francis Group, 2009. 204 p.

LONGLEY, P.; BATTY, M. **Spatial analysis:** modelling in a GIS environment. [S.I.]: John Wiley and Sons, 1996. 392 p.

MILLER, J. H.; PAGE, S. E. **Complex adaptive systems:** an introduction to computational models of social life. Princeton: Princeton University Press, 2007. 263 p.

MITCHELL, M. **Complexity:** a guided tour. New York: Oxford University Press, 2009. 349 p.

MUMFORD, L. **A cidade na história.** São Paulo: Martins Fontes, 2001.

NYSTUEN, J. D. Identification of some fundamental spatial concepts. In: BERRY, B. J.; MARBLE, D.F. **Spatial Analysis:** a reader in statistical geography. New Jersey: Prentice Hall, 1968.

OMER, I. Evaluating accessibility using house-level data: a spatial equity perspective. **Computers, Environment and Urban Systems**, 30, 2006. 254-274.

O'SULLIVAN, D. Graph-cellular automata: a generalised discrete urban and regional model. **Environment and Planning B: Planning and Design**, London, 28, 2001. 687-705.

PANERAI, P. **Análise Urbana**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006. 198 p.

PERES, O. M. Crescimento urbano e hidrografia: dinâmicas morfológicas e articulação à paisagem natural. Dissertação de Mestrado UFPel PROGRAU. [S.I.], p. 132. 2010.

PINTO, N.; KEITT, T. Beyond the least-cost path: evaluting corridor redundancy using a graph-theoretic approach. **Landscape Ecology**, 24, 2008. 253-266.

POLIDORI, M. Simulações de crescimento urbano como instrumento de planejamento urbano e ambiental. Relatório de Pesquisa CNPQ. Pelotas. 2010.

POLIDORI, M. C. Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade. Tese de Doutorado UFRGS PPGECO. [S.I.], p. 352. 2004.

PORUTGALI, J. **Self-organization and the city**. Berlin: Springer, 2000. 352 p.

PRIGOGINE, I. **Fim das certezas, o tempo, caos e as leis da natureza**. São Paulo: Editora Unesp, 1996. 199 p.

RAYFIELD, B.; FORTIN, M.-J.; FALL, A. The sensitivity of least-cost habitat graphs to relative cost surface values. **Landscape Ecology**, 25, 2010. 519-532.

REIF, B. **Modelos en la planificación de ciudades y regiones**. Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local, 1978.

ROHANI, P.; LEWIS, T. J.; GRÜNBAUM, D.; RUXTON, G. Spatial self-organisation in ecology: pretty patterns or robust reality? **Trends in Ecology and Evolution**, 12, n. 2, 1997. 70-74.

SÁNCHEZ, D. C. Teoría de grafos aplicada a redes naturales y antrópicas. In: MATTEUCCI, S. D.;

BUZAI, G. **Sistemas ambientales complejos: herramientas de análisis espacial**. Buenos Aires: Editora Universitaria de Buenos Aires, 1998. p. 321-345.

SARAIVA, M. V. P.; POLIDORI, M. C.; PERES, O. M.; TORALLES, C. P. **CityCell – Urban Growth Simulator (software)**. LabUrb – Laboratório de Urbanismo da FAUrb. Pelotas: UFPel. 2011.

SAURIM, E. **Crescimento urbano simulado para Santa Maria - RS**. Dissertação de Mestrado - PROPUR UFRGS. Porto Alegre. 2005.

SEMBOLONI, F. The dynamic of an urban cellular automata model in a 3-D spatial pattern. XXI National Conference Aisre. Palermo: [s.n.]. 2000.

SKYTTNER, L. **General systems theory: problems, perspectives, practice**. Singapura: World Scientific Publishing, 2005.

SOJA, E. The spatiality of social life: towards a transformative retheorisation. In: GREGORY, D.;

HURRY, J. **Social relation and spatial structures**. London: Mac-Millan, 1985. p. 90-127.

SROUR, I. M.; KOCKELMAN, K. M.; DUNN, T. P. Accessibility indices: connection to residential land prices and location choices. **Transportation Research Record**, n. 1805, 2002. 25-34.

STRATHERN, P. **Turing and the computer**. New York: Anchor Books, 1999. 105 p.

TORALLES, C. P. Cidade e crescimento periférico: morfologia e modelagem da formação do tecido urbano. Dissertação de Mestrado UFPel PROGRAU. Pelotas. 2013.

TORRENS, P. How cellular models of urban systems work. **CASA Working Papers**, London, 2000. Disponível em: <[http://casa.ucl.ac.uk/working\\_papers.htm](http://casa.ucl.ac.uk/working_papers.htm)>. Acesso em: 6 dez. 2010.

UN-HABITAT. **State of the world's cities 2008/2009: harmonious cities**. United Nations Human Settlements Programme. [S.I.]. 2008.

VISSE, H.; DE NIJS, T. The Map Comparison Kit. **Environmental Modelling & Software**, n. 21, 2006. 346-358.

WHITE, I. D.; MOTTERSHEAD, D. N.; HARRISON, S. J. **Environmental Systems**: An Introductory Text. London: Routledge, 1992.

WHITE, R.; ENGELEN, G. Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use. **Environment and Planning A**, 25, 1993. 1175-1199.

WHITE, R.; ENGELEN, G.; ULJEE, I. The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics. **Environment and Planning B: Planning and Design**, 24, n. 3, 1997. 323-343.

WILSON, A. **Complex spatial systems**: the modelling foundations of urban and regional analysis. Harlow, England: Pearson Education, 2000. 184 p.

WOLFRAM, S. Cellular automata as simple self-organizing systems., 1982. Disponível em: <<http://www.stephenwolfram.com/publications/articles/ca/82-cellular/>>. Acesso em: 4 abr. 2011.

WOLFRAM, S. **A New Kind os Science**. London: Wofram Media, 2002. 1197 p.

WOUDSMA, C.; JENSEN, J. F.; KANAROGLOU, P.; MAOH, H. Logistics land use and the city: a spatial-temporal modelling approach. **Transportation Research part E**, 44, 2008. 277-297.

WRIGHT, R. **NonZero**: the logic of human density. New York: Vintage, 2001. 448 p.

WU, J.; HOOBS, R. **Key topics in Landscape Ecology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 297 p.

YU, K. Ecological security patterns in landscapes and GIS application. **CPGIS Journal**, 1, n. 2, 1995. 88-102 p.

YUNES, G. S. Cidades Reticuladas: a persistência do modelo na formação urbana do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado USP. São Paulo.

## CRÉDITOS

SANTOS, Eduarda Galho dos.; POLIDORI, Maurício Couto (2022). CityCell Help. Pelotas. UFPel. 59 páginas. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/citycell/>> Em 25 Março de 2022.

POLIDORI, Maurício Couto e SARAIVA, Marcus Vinicius Pereira. CityCell - Urban Growth Simulator (software, version 4.2). LabUrb - Laboratório de Urbanismo da FAUrb. Pelotas: UFPel. 2014. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/citycell/>> Em 25 Março de 2022.