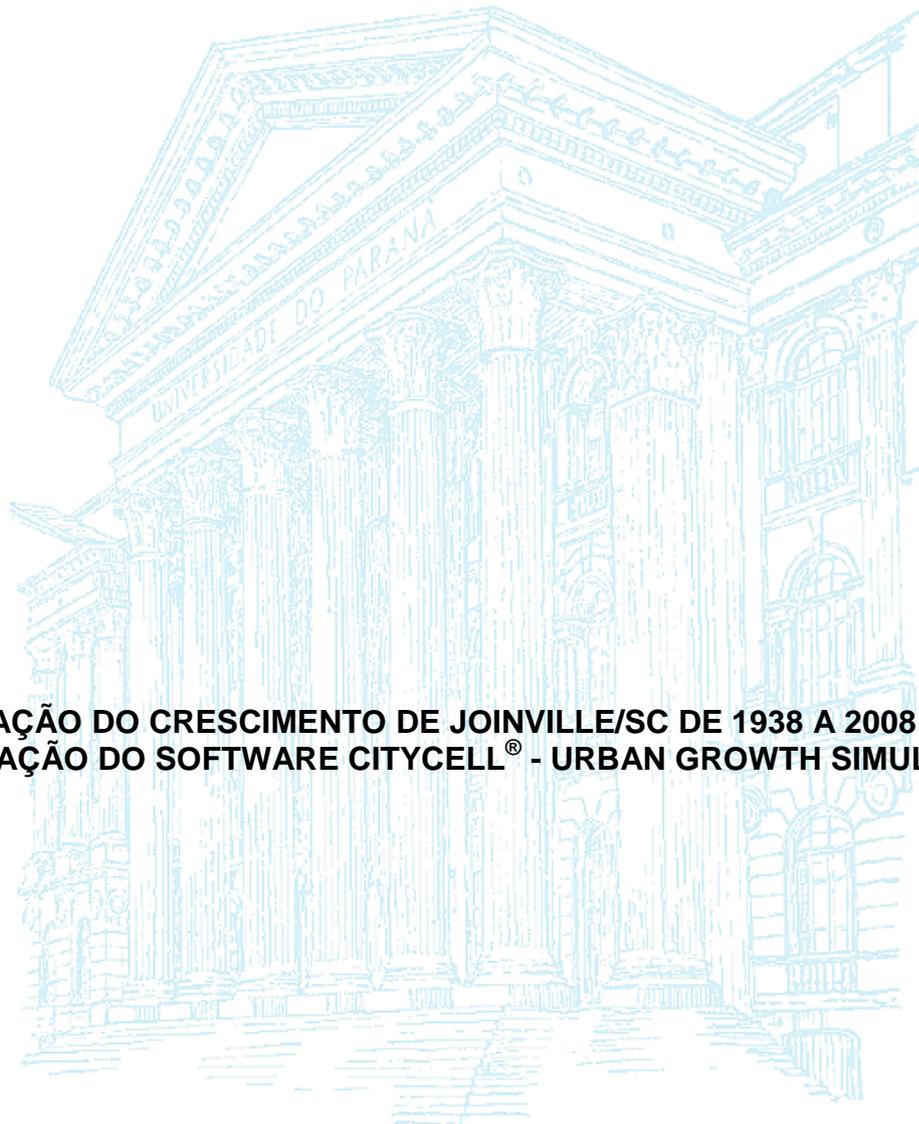


ALEXANDRE ROBERTO PEIXE

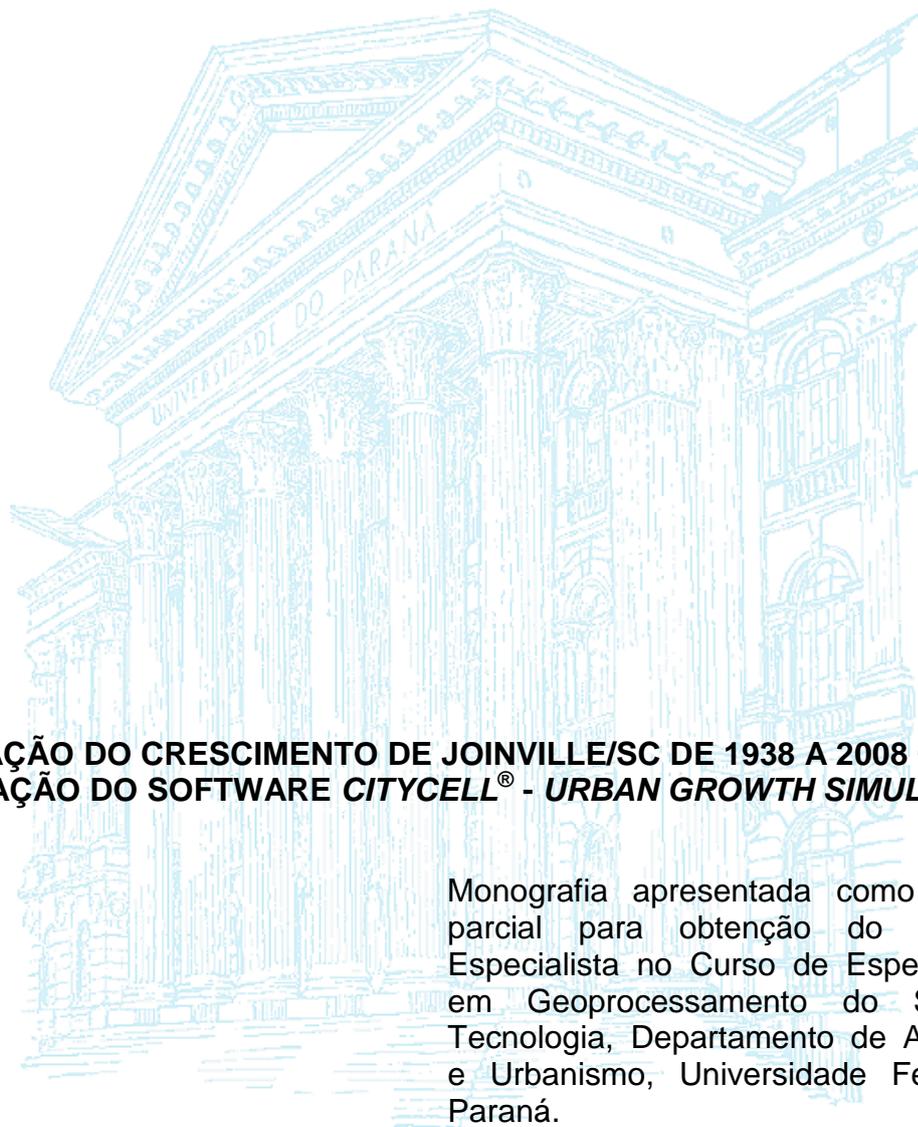


**SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO DE JOINVILLE/SC DE 1938 A 2008 COM A
APLICAÇÃO DO SOFTWARE CITYCELL® - URBAN GROWTH SIMULATOR**

CURITIBA

2012

ALEXANDRE ROBERTO PEIXE



SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO DE JOINVILLE/SC DE 1938 A 2008 COM A APLICAÇÃO DO SOFTWARE CITYCELL® - URBAN GROWTH SIMULATOR

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Especialização em Geoprocessamento do Setor de Tecnologia, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof.^a MsC Lisana Katia Schmitz

CURITIBA

2012

TERMO DE APROVAÇÃO

ALEXANDRE ROBERTO PEIXE

SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO DE JOINVILLE/SC DE 1938 A 2008 COM APLICAÇÃO DO SOFTWARE CITYCELL® - URBAN GROWTH SIMULATOR

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista no Curso de Especialização em Geoprocessamento, Setor de Tecnologia, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:



Profª Ms. Lisana Kátia Schmitz

Departamento de Arquitetura e Urbanismo - UFPR

Avaliador:



Esp. Carlos Eduardo Felsky Filho

Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC

Curitiba, 07 de agosto de 2012.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a minha família pelo apoio e especialmente à minha esposa Karla, que nos momentos mais difíceis sempre esteve ao meu lado. Ajudando, ou sugerindo, ou mesmo apenas ouvindo. Agradeço à sua paciência e sua compreensão, seu amor e seu carinho, sem ela eu não teria chegado até aqui e não teria essa vontade de sempre me tornar alguém melhor.

Agradeço também ao professor doutor Maurício Couto Polidori pela cessão da ferramenta para uso neste estudo e a Marcus Vinicius Pereira Saraiva pelo suporte na instalação e utilização do *Citycell*[®].

RESUMO

A pesquisa busca modelar o crescimento urbano da cidade de Joinville/SC entre 1938-2008 por meio de técnicas de geoprocessamento, com a utilização específica do software *Citycell® - Urban Growth Simulator*. Busca-se comparar o desenvolvimento real da cidade com o simulado num horizonte temporal maior para verificar se a simulação permitiria a mesma evolução da cidade até o presente momento no mundo real. O período pretendido possibilita uma estimativa mais apurada dos eixos de crescimento futuro, cuja estimativa é útil como balizadora de políticas públicas tanto para organização e melhoria do espaço urbano quanto para direcionar políticas de preservação. A simulação de crescimento do *Citycell®* é balizada por atributos e parâmetros. Os atributos são escolhidos entre as feições urbanas, administrativas e naturais mais influentes no desenvolvimento da cidade a ser modelada e os parâmetros balizarão o desenvolvimento da simulação com a determinação de eixos e velocidades de crescimento. O sucesso obtido foi considerado suficiente e permite o uso da calibração aplicada para estudos sobre o desenvolvimento futuro da cidade.

Palavras-chave: Crescimento urbano. Simulação. Geoprocessamento. *Citycell®*.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 - REGIÃO DE JOINVILLE/SC..... | 13 |
| FIGURA 2 – MACROZONEAMENTO RURAL 2008 | 17 |
| FIGURA 3 – MACROZONEAMENTO DE USO DO SOLO 1987..... | 18 |
| FIGURA 4 – DEMARCAÇÃO DA ÁREA DE TRABALHO..... | 19 |
| FIGURA 5 - IMAGEM CBERS 2B DA ÁREA DE JOINVILLE | 20 |
| FIGURA 6 - JOINVILLE EM 1938. | 21 |
| FIGURA 7 - JOINVILLE EM 1938 – RECORTE ÁREA URBANA..... | 22 |
| FIGURA 8 - JOINVILLE EM 1938 SOBREPOSTA À IMAGEM DE SATÉLITE..... | 23 |
| FIGURA 9 – ATRIBUTO COTA 40..... | 24 |
| FIGURA 10 – MAPA DE VEGETAÇÃO DE JOINVILLE..... | 25 |
| FIGURA 11 – REGIÃO DE JOINVILLE – VEGETAÇÃO | 26 |
| FIGURA 12 – ÁREA DISPONÍVEL NO MUNICÍPIO DE JOINVILLE (EM VERDE) | 27 |
| FIGURA 13 – REGIÃO DE JOINVILLE – HIDROGRAFIA | 28 |
| FIGURA 14 – REGIÃO DE JOINVILLE – ÁREAS PROTEGIDAS (AMARELO), ÁREAS CONTROLADAS (CINZA) | 29 |
| FIGURA 15 – ATRIBUTOS INSERIDOS NO CITYCELL® | 30 |
| FIGURA 16 – COMPARAÇÃO ENTRE A CIDADE SIMULADA (AMARELO) E A REAL (AZUL)..... | 34 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1 – LISTA DE PARÂMETROS DO CITYCELL® | 31 |
| TABELA 2 – TABELA DE RESULTADOS DO PROCESSAMENTO | 33 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 6 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 8 |
| 2.1. AUTÔMATOS CELULARES..... | 8 |
| 2.2. GRAFOS..... | 9 |
| 2.3. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS..... | 10 |
| 2.4. ESTUDOS DESENVOLVIDOS COM A FERRAMENTA..... | 11 |
| 2.5. CITYCELL® - URBAN GROWTH SIMULATOR..... | 11 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS..... | 13 |
| 3.1. A CIDADE DE JOINVILLE..... | 13 |
| 3.2. DADOS UTILIZADOS..... | 14 |
| 3.3. ROTEIRO DE TRABALHO..... | 15 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 16 |
| 4.1. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE TRABALHO..... | 16 |
| 4.2. CRIAÇÃO DOS ATRIBUTOS..... | 19 |
| 4.2.1. Área Urbana em 1938..... | 21 |
| 4.2.2. Topografia da Área..... | 23 |
| 4.2.3. Vegetação da região..... | 24 |
| 4.3.3. Área Municipal..... | 26 |
| 4.3.4. Rios de maior porte e a Baía da Babitonga..... | 27 |
| 4.3.5. Áreas de proteção ambiental..... | 28 |
| 4.2. RESULTADO DA SIMULAÇÃO..... | 29 |
| 5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES..... | 35 |
| REFERÊNCIAS..... | 38 |

1. INTRODUÇÃO

Joinville é a maior cidade de Santa Catarina, responde por 20% das exportações do estado, e seu desenvolvimento tem como ponto de partida oficial a chegada da primeira leva de imigrantes à região em 9 de março de 1851. Seu crescimento espacial é vinculado à sua expansão industrial, com destaque aos setores metalmeccânico, têxtil, plástico, metalúrgico, químico e farmacêutico. (IPPUJ, 2011). Em 1938, A cidade contava com 39.656 habitantes (IBGE, 1938), enquanto em 2008 sua população estimada era de 492.101 (IBGE, 2008), um aumento de mais de doze vezes. O objetivo geral da pesquisa é a modelagem do crescimento urbano de Joinville no período entre 1938-2008 por meio de técnicas de geoprocessamento, com a utilização específica do software *Citycell® - Urban Growth Simulator*.

O uso de simulações para o estudo de fenômenos tem sido cada vez mais frequente e atinge todas as áreas do conhecimento. Entre elas, os sistemas urbanos, que tem se tornado cada vez maiores e mais complexos, tem sido alvo de estudos para o desenvolvimento de novos modelos de simulação que permitam a previsão de alocação de recursos para prevenir e corrigir situações que tendem a gerar problemas futuros.

A simulação do crescimento urbano levando em conta os fatores que o afetam é complexa e até o momento não foi implementada nativamente em pacotes comerciais de softwares de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Por isso, depende do desenvolvimento de ferramentas e métodos por parte dos pesquisadores e entidades envolvidos no seu estudo. A escolha do software *Citycell®* foi lastreada em sua possibilidade incluir fatores ambientais, institucionais e urbanos na análise.

O *Citycell®* funciona por meio da modelagem dos diversos atributos que influem na atratividade ou resistência das áreas à urbanização. Para implementação da metodologia de simulação de crescimento é necessário o levantamento de uma série de informações ambientais, institucionais e urbanas em formato raster. Com base nelas será simulado o crescimento da cidade de Joinville a partir de um ponto

inicial, obtido através de um mapa de 1938. Esse resultado será comparado com a situação da cidade como se apresentava em 2008, obtida por meio de uma imagem do satélite Landsat.

O estudo atual propõe comparar o desenvolvimento real da cidade com o simulado num horizonte temporal maior do que os estudos feitos com a versão anterior do software de simulação. Pretende-se verificar se, com a calibração correta de parâmetros e atributos, esta simulação permitiria apresentar a evolução da cidade até o presente momento no mundo real. Como objetivos específicos serão modelados os atributos necessários à simulação por meio de ferramentas de geoprocessamento e sua adequação para que sejam utilizados pelo software.

A relevância do estudo reside no desenvolvimento de um modelo da cidade de Joinville que recrie sua evolução urbana ao longo dos setenta anos em que os dados se baseiam. Este modelo ampliado permite a redução das distorções causadas por fatos isolados e serviria para criar um embasamento sólido para estimar os eixos de crescimento futuro. Esta estimativa é útil como balizadora de políticas públicas tanto para organização e melhoria do espaço urbano quanto para direcionar políticas de preservação de ecossistemas protegidos que seriam ameaçadas no futuro de acordo com os resultados obtidos pelo simulador. Também se pretende testar a versão atual do *Citycell*[®] de modo a oferecer subsídios ao seu desenvolvimento.

O trabalho está estruturado em quatro partes, na primeira será caracterizado o aplicativo a ser utilizado e serão apresentados outros estudos que foram feitos com ele. Na segunda parte será descrita a área a ser estudada e o modo como será desenvolvido o trabalho. Na terceira parte serão especificados a metodologia e os passos dados em cada um dos procedimentos necessários para a estruturação dos dados a serem inseridos no simulador e depois apresentados os resultados obtidos pela simulação e sua comparação com o crescimento real que a cidade apresentou naquele período. Na quarta parte será avaliado o resultado e discutido do estudo, serão também apresentadas e discutidas as dificuldades e limitações encontradas no desenvolvimento do estudo e serão apresentadas algumas sugestões de melhoria para o software utilizado que está em fase de desenvolvimento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O processo de crescimento urbano apresenta dificuldades em sua apreensão pela quantidade de variáveis presentes, tanto na cidade quanto na paisagem que ela integra, e pela sua constante evolução. Em face disso, uma solução é modelar a cidade e a paisagem artificialmente e realizar simulações que auxiliem o entendimento de sua dinâmica. A instrumentação desse processo é obtida pela integração da teoria dos grafos, da dinâmica de autômatos celulares, da geocomputação e de sistemas de informações geográficas. (POLIDORI, 2004)

A modelagem urbana e simulações respondem a premente necessidade de antecipação que os processos de planejamento exigem. Estes estudos, ao integrar fatores urbanos, naturais e institucionais, também auxiliam a compreensão dos mecanismos de mudança na cidade. Mas, para trabalhar esses modelos é imprescindível o desenvolvimento de novas tecnologias que ajudem a superar os desafios da urbanização contemporânea (PERES e POLIDORI, 2009).

2.1. AUTÔMATOS CELULARES

Os autômatos celulares estavam direcionados inicialmente a estudos sobre computação, inteligência e vidas artificiais, quando foram desenvolvidos por John Von Neumann e Stanislaw Ulam, na década de 1940 (TORRENS, 2000). Podem ser considerados como um espaço finito composto por células organizadas em um *GRID*, que mudam de estado automaticamente seguindo certas regras de transição, em função do estado das células vizinhas (SARAIVA e POLIDORI, 2008).

Os Autômatos celulares oferecem uma abordagem interessante e inovadora nos estudos urbanos, tendo sido empregados na exploração de diversos fenômenos urbanos de simulações de tráfego e urbanização em escala regional à dinâmica do uso do espaço, análise histórica de urbanização e desenvolvimento urbano (TORRENS, 2000)

A interação desses componentes simples com sua vizinhança pode gerar padrões de comportamento complexo, assim como ocorre com as cidades. As possibilidades de espacialização dos autômatos celulares, aliadas à sua capacidade de representar processos dinâmicos têm sido utilizadas como auxiliares na resolução de problemas ambientais e urbanos, como é o caso do crescimento espacial (POLIDORI, 2004).

Contudo, a ênfase da abordagem dos autômatos celulares é a criação de estruturas globais a partir de eventos locais, mas muitos fenômenos urbanos não emergem a partir de relações locais. Isto implica na necessidade de considerar outras interações além daquelas representadas por eles (O'SULLIVAN E TORRENS, 2000).

2.2. GRAFOS

Os grafos são conjuntos finitos de nodos conectados por arestas cujo estudo provém da topologia e está focado nas relações entre pontos, linhas e superfícies, a partir de suas conexões. (MARIANI, 2001)

Eles são aplicados na representação das relações de interação ou tensão espacial entre as células do modelo. Para isso converte-se a estrutura *GRID* da forma que se apresenta nos autômatos celulares em grafos, onde se considera cada célula como um vértice e sua vizinhança celular do tipo Moore (considerando 8 vizinhos ao redor de uma célula central) como suas arestas (SARAIVA e POLIDORI, 2008). Outro tipo de vizinhança aplicado aos autômatos celulares é a vizinhança Von Neumann (4 vizinhos ao redor de uma célula central), ambos aplicáveis às matrizes quadradas (SAURIM, 2005).

Enquanto os autômatos celulares tratam de relação de vizinhança imediata, os grafos permitem representar estruturas espaciais a partir de vizinhanças remotas. Deste modo, a utilização de recursos de grafos e de autômatos celulares permite tratar de forma integrada as relações locais e globais (POLIDORI, 2004).

2.3. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Os Sistemas de Informação Geográfica são conjuntos de ferramentas computacionais utilizados no Geoprocessamento e que permitem realizar análises complexas, integrando dados de diversas fontes e criando bancos de dados georreferenciados (CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO: 2003).

A modelação dos processos e fenômenos urbanos a partir do mosaico regular que caracteriza o trabalho com autômatos celulares torna-o intercambiável com arquivos *Raster* usados normalmente em sistemas de informações geográficas, e isso permite tanto o pré, quanto o pós-processamento dos dados trabalhados (COSTA, 2010).

Um problema na utilização dos SIGs é que eles foram concebidos para análises estáticas e dedicam sua atenção na exploração e análise de uma situação e não para examinar sua evolução, o que precisa ser obtido externamente (POLIDORI, 2004).

Originalmente, o *SAC*[®] (Simulador de Ambiente de Cidade) funcionava integrado ao software *ArcView*[®] 3.3, desenvolvido pela ESRI instalado na forma de uma extensão. Assim, toda entrada e saída de dados, bem como a parametrização dos processos, eram feitas naquele ambiente. As informações disponíveis para a modelagem urbana eram armazenadas no ambiente SIG, responsável pela leitura organização e visualização dos dados. O SIG permitia a execução de operações de elevada complexidade envolvendo dados espaciais com relativa facilidade, aliada à possibilidade de desenvolvimento e atualização das novas ferramentas geoespaciais destinadas à solução de seus problemas específicos (POLIDORI, 2004).

No *Citycell*[®] o pacote de componentes de SIG proveniente do *ArcView*[®] 3.3 foi substituído por um pacote próprio integrado ao software. Este módulo é responsável por toda a interpretação, edição e visualização de dados raster necessários às simulações de crescimento urbano. Também foram otimizados os algoritmos que calculam o progresso da simulação para reduzir o tempo necessário de processamento, o que permite um aumento no grau de detalhe possível na definição dos atributos a serem considerados (SARAIVA e POLIDORI, 2008).

2.4. ESTUDOS DESENVOLVIDOS COM A FERRAMENTA

Os conceitos e a ferramenta de simulação SACI[®] foram inicialmente desenvolvidos pelo professor doutor Maurício Couto Polidori em sua tese de doutorado, “Crescimento urbano e ambiente – Um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade”, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (POLIDORI, 2004).

A mesma ferramenta e arcabouço teórico foram aplicados na dissertação de mestrado “Crescimento urbano simulado para Santa Maria-RS” de Eduardo Saurim em 2005.

Entre os artigos que foram escritos sobre e utilizando esta ferramenta estão incluídos: “Compactação e fragmentação urbana: Dinâmicas morfológicas do crescimento urbano frente aos recursos hídricos” por Otávio M. Peres, Marcus V. P. Saraiva, J.A. Lima e Maurício C. Polidori; “Especulando sobre a fragmentação da forma urbana: dinâmicas do crescimento e ecologia urbana” por Otávio M. Peres e Maurício C. Polidori; “Modelagem urbana e desempenho de sistemas computacionais: estudo e aplicação em um simulador de crescimento urbano - SACI[®]” por Marcus V. P. Saraiva e Maurício C. Polidori; “Simulação do crescimento urbano e análise comparativa entre cidades pequenas no sul do Brasil e na Argentina”, por Natália B. Gonçalves, Rodolpho M. Bretanha e Maurício C. Polidori;

2.5. CITYCELL[®] - URBAN GROWTH SIMULATOR

O *Citycell[®] - Urban Growth Simulator* é a segunda versão do Simulador de Ambiente de Cidade (SACI[®]) criado pelo professor doutor Maurício Couto Polidori. Ela está em fase de testes e este estudo também servirá para oferecer subsídios ao seu desenvolvimento.

O *Citycell[®]* funciona por meio da modelagem de atributos que influem na atratividade ou resistência das áreas à urbanização, como relevo, vegetação, hidrografia, restrições legais à ocupação etc. Estes dados são tratados pelo software de simulação que aplica conceitos de sistemas de informações geográficas, autômatos celulares e grafos ao sistema.

Essas funcionalidades associadas ao uso de informações georreferenciadas em arquivos raster permitem modelar o ambiente a ser estudado tão detalhadamente quanto necessário.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. A CIDADE DE JOINVILLE

A área de estudo é a cidade de Joinville, em Santa Catarina, fundada em 9 de março de 1851 com a chegada de imigrantes da Alemanha, Suíça e Noruega. Ela se localiza no litoral norte de Santa Catarina, entre a Serra do Mar e a Baía da Babilonga (TERNES, 1993).

O município se localiza a $26^{\circ}18'05''\text{S}$ e $48^{\circ}50'38''\text{W}$, possui a área de 1.135,05 km². A altitude média da sede é de 4,5 m e o ponto culminante do município é o Pico da Serra Queimada, com 1.325m (IPPUJ, 2011).

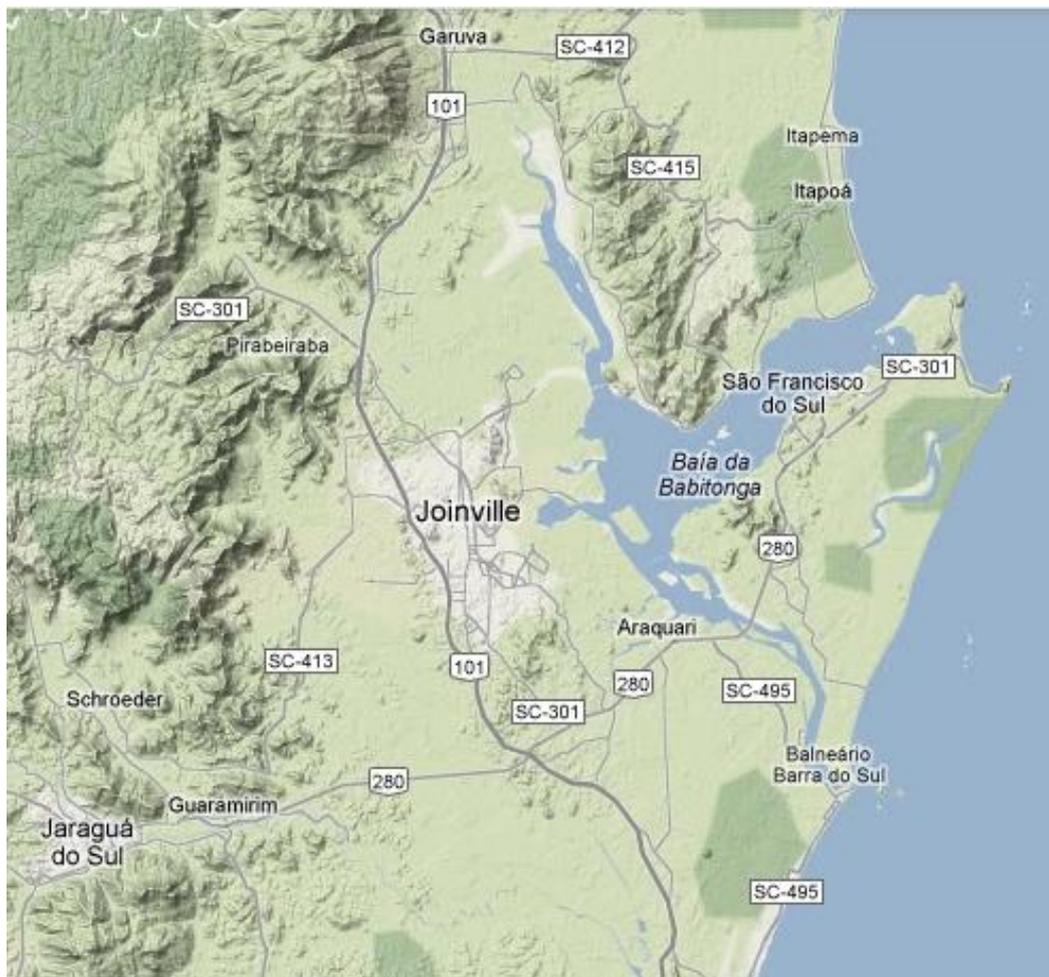


FIGURA 1 - REGIÃO DE JOINVILLE/SC

Fonte: Google - Maplink, 2012.

O início de seu povoamento concentrou-se ao redor do porto de desembarque às margens do Rio Cachoeira, mais tarde sua expansão se deu ao longo da Estrada Dona Francisca (hoje Rodovia SC-301) que liga o centro da cidade ao planalto norte catarinense e, após o fechamento do Canal do Linguado, ao longo da estrada que liga a cidade à Ilha de São Francisco do Sul (TERNES, 1993).

De acordo com o IPPUJ (2011), mais de 60% do território da cidade é coberto pela Floresta Atlântica e seus ecossistemas associados, no qual se destaca a Floresta Ombrófila Densa, que abrange em torno de 640 km², abrigando mais de 600 espécies vegetais.

Os manguezais remanescentes da área da Baía da Babitonga ocupam cerca de 36 km² e destes, aproximadamente 3.100 ha, estão no território municipal (IPPUJ, 2011).

O município encontra-se a oeste sobre terrenos cristalinos da Serra do Mar e a leste sobre uma área de sedimentar costeira. A oeste está o planalto ocidental, com altitude média de 800 m, estendendo-se até os contrafortes da Serra do Mar. A leste está a região de planícies sedimentares aluvionais e em partes da linha da costa encontram-se manguezais (IPPUJ, 2011).

3.2. DADOS UTILIZADOS

As informações que subsidiaram a criação dos atributos foram obtidas de diversos órgãos públicos por meio da internet.

Do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina foram obtidos dados sobre vegetação. O Projeto Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina busca elaborar a lista das espécies vegetais ameaçadas de extinção em sua área de abrangência e levantar os elementos indispensáveis para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado. Os dados estão disponíveis no endereço eletrônico: <http://www.iff.sc.gov.br>.

Os dados vetorizados que serviram de base à construção do modelo digital do terreno e do georreferenciamento das demais feições foram obtidos junto à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina (EPAGRI) que vetorizou as cartas 1: 25.000 de todo o município. Elas foram geradas por projetos desenvolvidos

pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina - EPAGRI/CIRAM, As informações encontram-se em arquivos no formato SHP (*Shapefile*, padrão dos produtos ESRI) com Datum SAD69. Aquelas que possuíam outro Datum foram convertidas a partir do original. Os dados estão disponíveis no endereço eletrônico: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/>.

Junto ao Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Joinville (IPPUJ) foram obtidas cópias dos planos diretores com plantas da cidade em diversos momentos e descrições do zoneamento municipal. Os dados estão disponíveis no endereço eletrônico: www.ippuj.sc.gov.br/.

O mapa da cidade em 1938 foi obtido na página da internet Mapas Antigos de Joinville, depois de terem sido digitalizados a partir dos originais que constam do acervo do Arquivo Histórico de Joinville. O mapa está disponível no endereço eletrônico: <http://www.webng.com/imigracaojoinville/mapas/>.

Com base nesses dados foram gerados arquivos raster com o software ArcGIS 10 que servirão de parâmetros para a simulação gerenciada pelo *Citycell*[®].

3.3. ROTEIRO DE TRABALHO

A simulação de crescimento do *Citycell*[®] é construída com base em atributos, que são escolhidos para serem representados no modelo de simulação entre as feições urbanas, administrativas e naturais que mais influíram no desenvolvimento da cidade a ser modelada. Inicialmente, eles são escolhidos e demarcados na área de estudo para determinar sua área de influência. Depois, são definidos parâmetros como os pesos relativos entre eles e os eixos e velocidades de crescimento que balizarão o desenvolvimento da simulação. Para a representação de Joinville foram escolhidos os seguintes atributos:

- Área urbana em 1938;
- Topografia da área;
- Vegetação da região, em especial os manguezais do litoral;
- Delimitação da área do município
- Rios de maior porte e a Baía da Babitonga;

- Áreas de proteção ambiental, que na década de 1970, no auge de crescimento da cidade, passaram a ser regulamentadas.

Após a definição, demarcação e determinação de pesos para cada um dos atributos é iniciada a simulação. A partir de seus resultados, análises e comparações com o crescimento real da cidade podem ser feitas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a aplicação do modelo, é necessária a definição e delimitação de atributos que representam as características ambientais, urbanas e ambientais que influem na expansão da cidade. Estas características podem tanto atrair, quanto resistir à urbanização de sua área, de acordo com sua natureza e influência.

4.1. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE TRABALHO

Para representar no Citycell[®] o ambiente a ser simulado, é necessária a delimitação da área de trabalho que será considerada. Essa área é definida pela imagem sobre a qual serão ajustados os atributos e sobre a qual serão comparados os resultados obtidos.

No caso de Joinville, a delimitação da área foi escolhida com base no mapa do macrozoneamento rural do município, que consta do plano diretor definido pela Lei Complementar Municipal nº 261 de 28 de fevereiro de 2008.

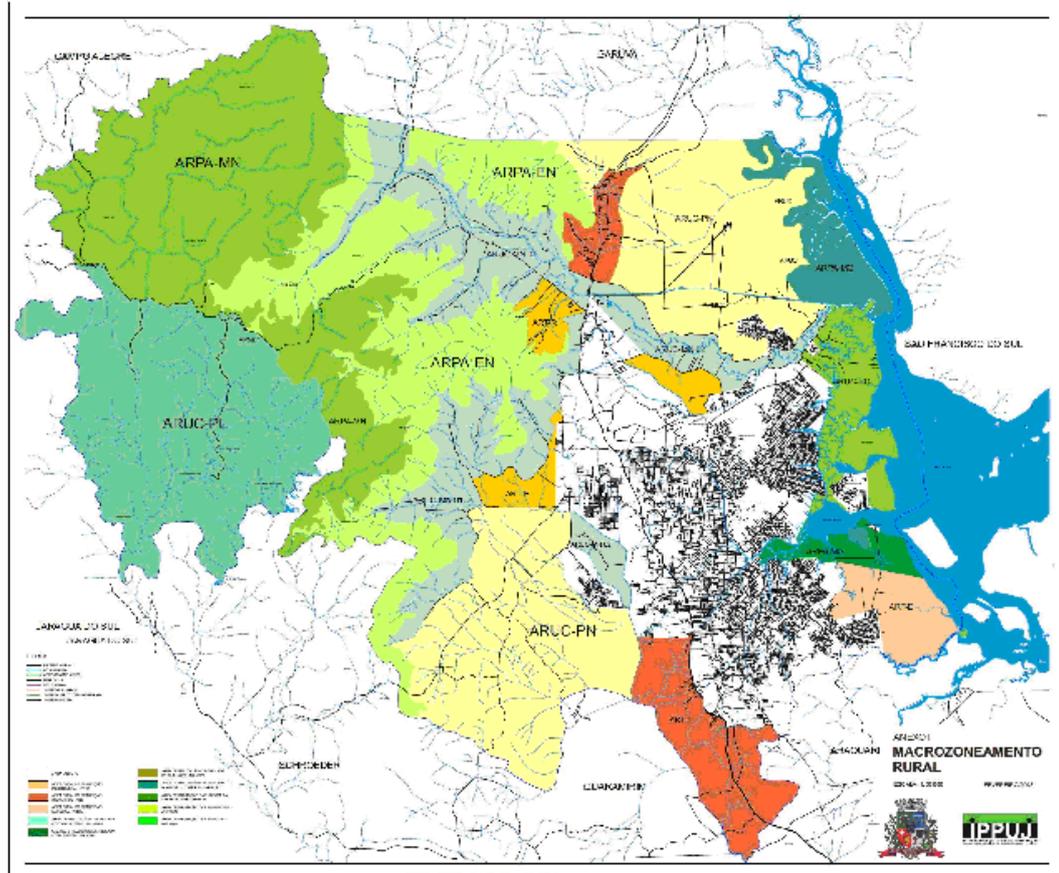


FIGURA 2 – MACROZONEAMENTO RURAL 2008

Fonte: IPPUJ – 2008

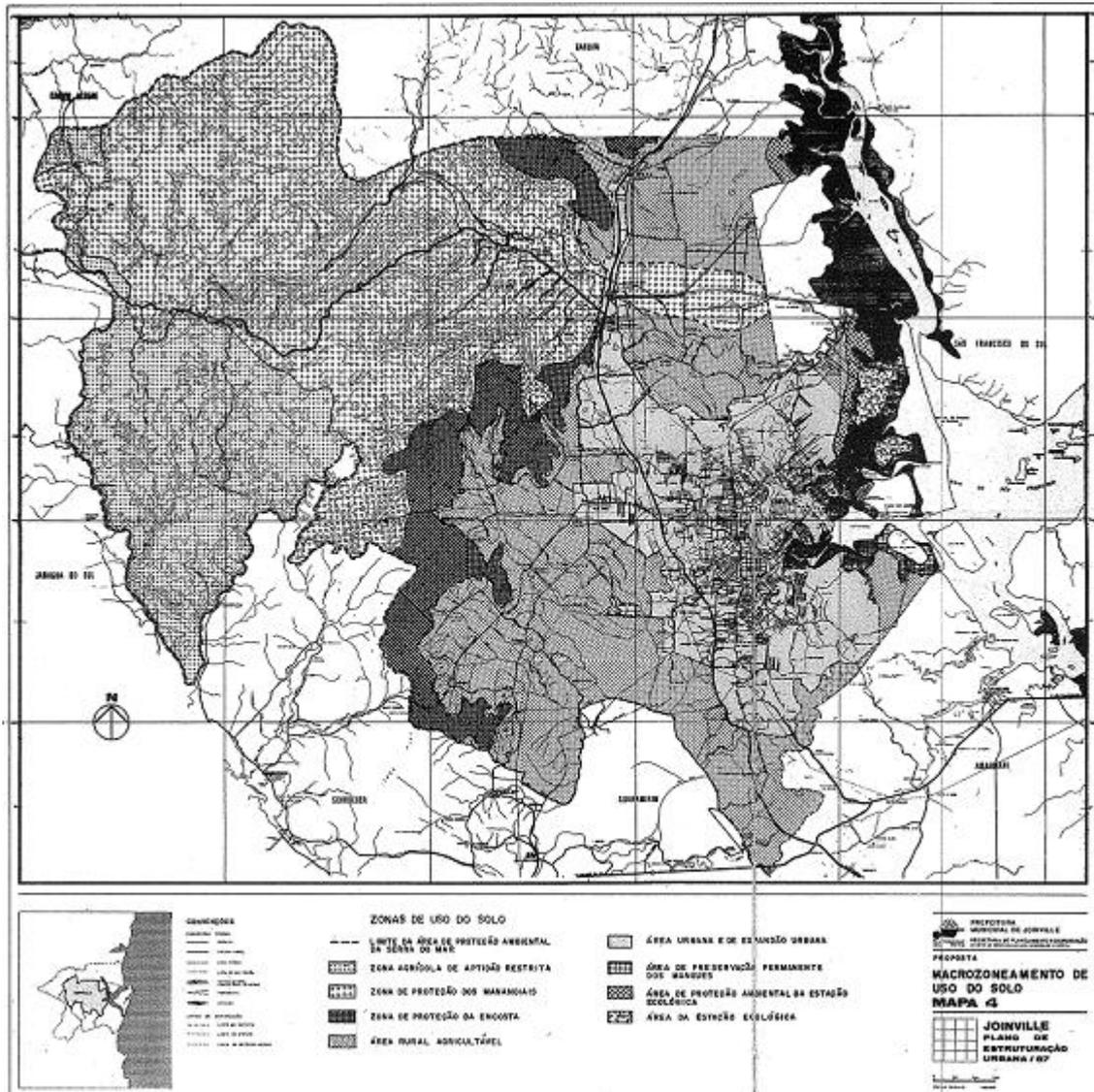


FIGURA 3 – MACROZONEAMENTO DE USO DO SOLO 1987

Fonte: PMJ – 1987

As áreas de proteção definidas pelo em 2008, não diferem das áreas já definidas em planos anteriores como demonstra o mapa do Plano de Estruturação Urbana de 1987.

Com base nas áreas de uso definidas pelo macrozoneamento foi delimitada a área de trabalho de modo a alcançar as principais áreas de expansão da cidade e foi delimitado no mapa abaixo por meio de uma linha vermelha, enquanto a linha preta demarca os limites do município de Joinville.

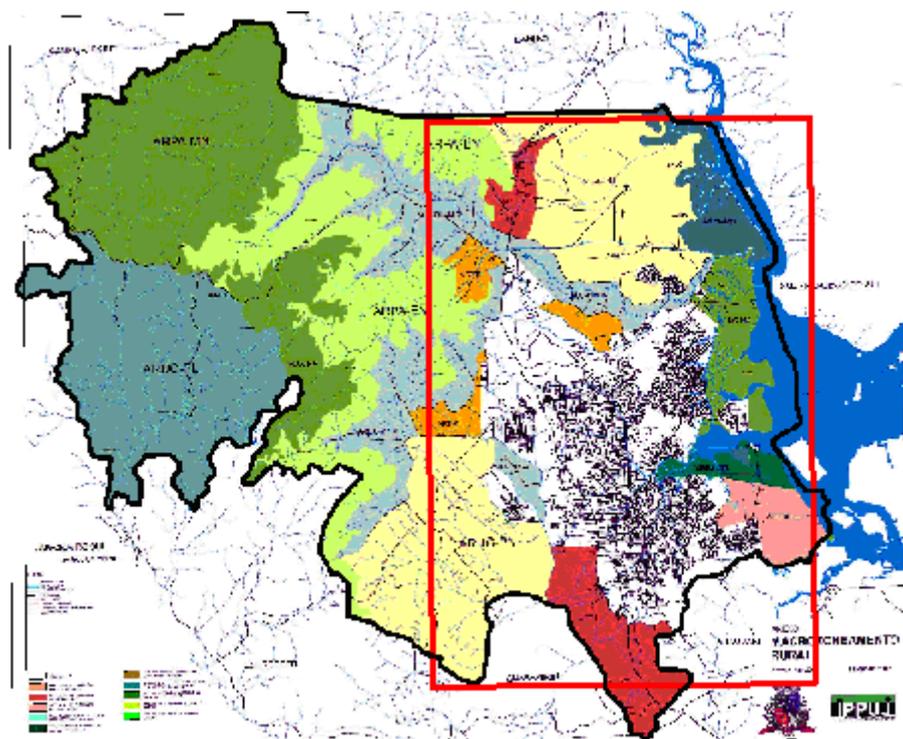


FIGURA 4 – DEMARCAÇÃO DA ÁREA DE TRABALHO.

Fonte: IPPUJ - 2008

4.2. CRIAÇÃO DOS ATRIBUTOS

Inicialmente, é necessária a criação um novo projeto no Citycell® e a definição da área a ser trabalhada. Para isso foi usada uma imagem do satélite Cbers 2b do ano de 2008 para limitar o espaço a ser trabalhado à máxima expansão urbana registrada na data de final de estudo. Nesse processo também são definidos o tamanho de cada célula do grid a ser utilizado pelo programa e a projeção de trabalho. No presente estudo o tamanho das células foi definido em 250 metros, principalmente em virtude da capacidade e do tempo de processamento exigidos pelo programa para se trabalhar com células de tamanho menor. O *datum* utilizado foi o WGS 84, que já vem implementada no software e é correspondente ao *datum* adotado como padrão no Brasil, o SIRGAS 2000.

A imagem de satélite foi obtida junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e foi escolhida pela ausência de nuvens o que levou à escolha da imagem datada de 25 de agosto de 2008. Dela foram selecionadas as bandas 2, 3 e 4, que permitem a composição conhecida como “falsa cor” que permite a visualização das feições essenciais ao estudo. Esta imagem foi recortada para o

espaço de trabalho definido. Contudo a atual versão do Citycell[®] não reconhece o formato nativo da imagem de satélite georreferenciada. A impossibilidade de carregar os arquivos no formato GeoTif no Citycell[®] exige mais uma etapa no trabalho que é a sua conversão. Após trabalhar com os arquivos raster no formato GeoTif no ArcGis para recorte e composição das bandas, foi necessária a conversão do arquivo resultante para GeoJpg antes de ser inserido no Citycell[®]. O formato GeoJpg se constitui de dois arquivos, um Jpg comum para representar a figura propriamente dita e um arquivo no formato prj que registra as informações de localização.

O Citycell[®] possui ferramenta própria para a definição de parâmetros, cuja edição se processa pelo preenchimento manual das células de um grid tendo como fundo a figura que representa a área a ser trabalhada. Contudo ele permite também a importação de grids no formato ASCII (txt) editados em outros softwares. Esta ferramenta de importação foi a escolhida para a maioria dos atributos utilizados pela sua praticidade em permitir a edição dos grids em formato raster em outros softwares com mais recursos de trabalho, como o ArcGIS 10 que está sendo utilizado neste estudo.



FIGURA 5 - IMAGEM CBERS 2B DA ÁREA DE JOINVILLE
Fonte: INPE (2008)

4.2.1. Área Urbana em 1938

O mapa de Joinville de 1938, obtido em formato jpg, precisou ser adequado à utilização no software, pois ele representava além da área urbana do município na escala 1:10.000, também a área total do município na escala 1:100.000 e as localidades de Pedreira, Corveta e Bananal, todas na escala 1:10.000.

O Citycell® não permite a seleção de áreas de interesse dentro de uma figura maior, portanto a solução seria recortar do mapa apenas a área desejada que representa o núcleo urbano de Joinville em 1938.

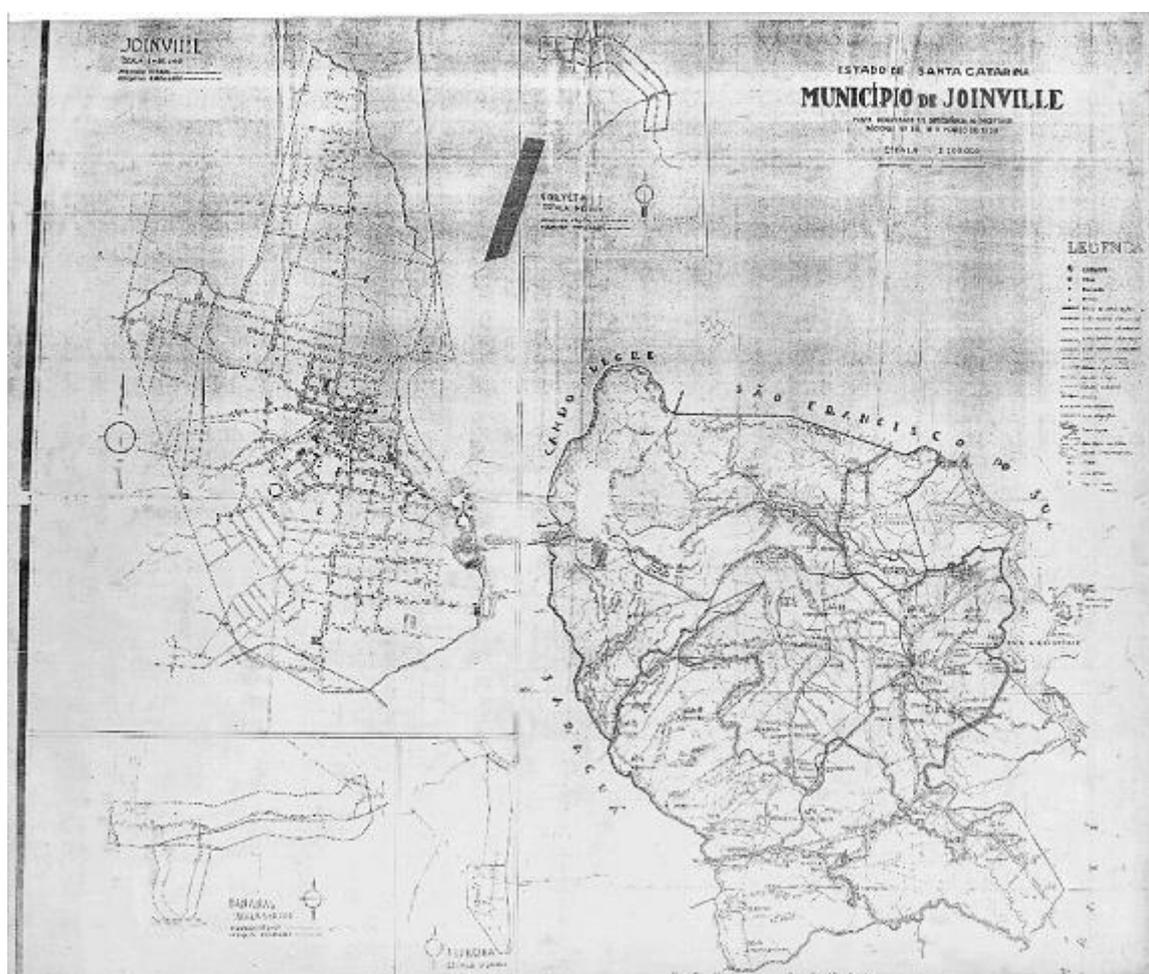


FIGURA 6 - JOINVILLE EM 1938.

Fonte: Mapas Antigos de Joinville

Em um software simples de tratamento de imagem como o Microsoft Paint, incluído no pacote do sistema operacional Windows, a operação de recorte da parte superior esquerda da imagem original é uma tarefa que não apresenta maiores

dificuldades. A resolução da digitalização do mapa original que está no Arquivo Histórico de Joinville foi de 72 dpi e a dimensão total da imagem de 6.360 pixels por 5460 pixels permitiram evitar a perda de detalhes da imagem que representa detalhadamente a ocupação urbana à época facilitando o trabalho de georreferenciá-la.

Após o recorte da imagem foi possível inserí-la no ArcGis e georreferenciá-la. A base sobre a qual a figura foi posicionada foi o arruamento da cidade de Joinville obtido junto à Epagri. Além das ruas centrais cujo traçado não foi alterado ao longo dos anos, também foram utilizados pontos de referência como igrejas e a estação ferroviária ao sul da cidade para ancorar os pontos de controle.

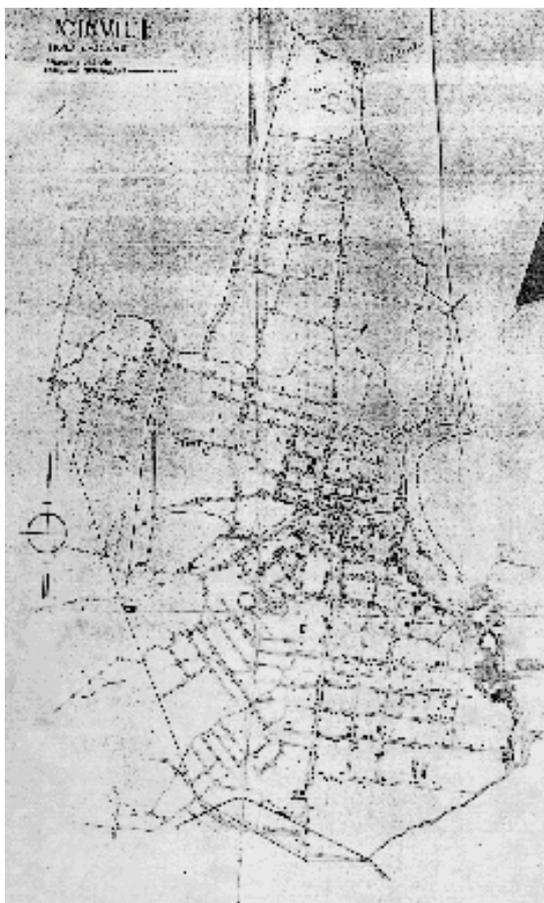


FIGURA 7 - JOINVILLE EM 1938 – RECORTE ÁREA URBANA.

Fonte: Mapas Antigos de Joinville

Após trabalhar com os arquivos raster no formato GeoTif no ArcGis, a área urbana ocupada pela cidade em 1938 foi vetorizada como um polígono. Esse polígono foi transformado para o formato raster, e em seguida teve o tamanho de

suas células redefinido para 250 metros por meio do comando *resample* do ArcGis de modo a se tornar compatível com o grid criado no Citycell®. Ao final do processamento ele foi exportado no formato ASCII que permite sua inserção no Citycell®. O passo seguinte foi a criação do atributo no Citycell® que foi nomeado como “Área Urbana 1938”, foi definido como atributo urbano de atração e teve ao seu peso atribuído o valor 1.



FIGURA 8 - JOINVILLE EM 1938 SOBREPOSTA À IMAGEM DE SATÉLITE.
Fonte: INPE (2008)

4.2.2. Topografia da Área

O relevo da área foi representado a partir das curvas de nível vetorizadas pela EPAGRI e foi manipulado com as ferramentas do ArcGIS para ser adequado ao formato que o Citycell® utiliza.

Inicialmente tentou-se utilizar um mapa de declividade onde as áreas com inclinação maior que 30° não seriam propícias para a ocupação conforme a própria legislação vigente no município.

Contudo, esse atributo tornou-se redundante devido à proteção dos morros definida por lei e acabava por sobrecarregar a simulação. Decidiu-se, portanto, pela utilização da proteção oferecida pelas Leis nº1262/73 e nº1410/75, que impediam a ocupação urbana nas áreas acima da cota de 40 metros de altitude e influenciaram decisivamente o desenvolvimento da cidade. Esta legislação veio a ser

flexibilizada, apenas no ano de 2005, com a Lei nº38/05 e gerou grande discussão quando de sua publicação. A criação do atributo, chamado a partir daqui de “Cota 40” foi obtido pela seleção das curvas de nível de 40 metros e a vetorização de sua abrangência na área de trabalho definida. Este arquivo vetorial foi convertido então para o formato raster com o mesmo tamanho de célula que foi convencionado para o estudo.



FIGURA 9 – ATRIBUTO COTA 40
Fonte: INPE (2008)

4.2.3. Vegetação da região

O mapa de vegetação a ser utilizado foi obtido junto ao Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina o mapa da Secretaria de Desenvolvimento Regional de Joinville. Este mapa foi georreferenciado com base na malha municipal obtida junto à EPAGRI e em seguida recortado no tamanho da área de trabalho e redefinido o tamanho das células em 250 metros.

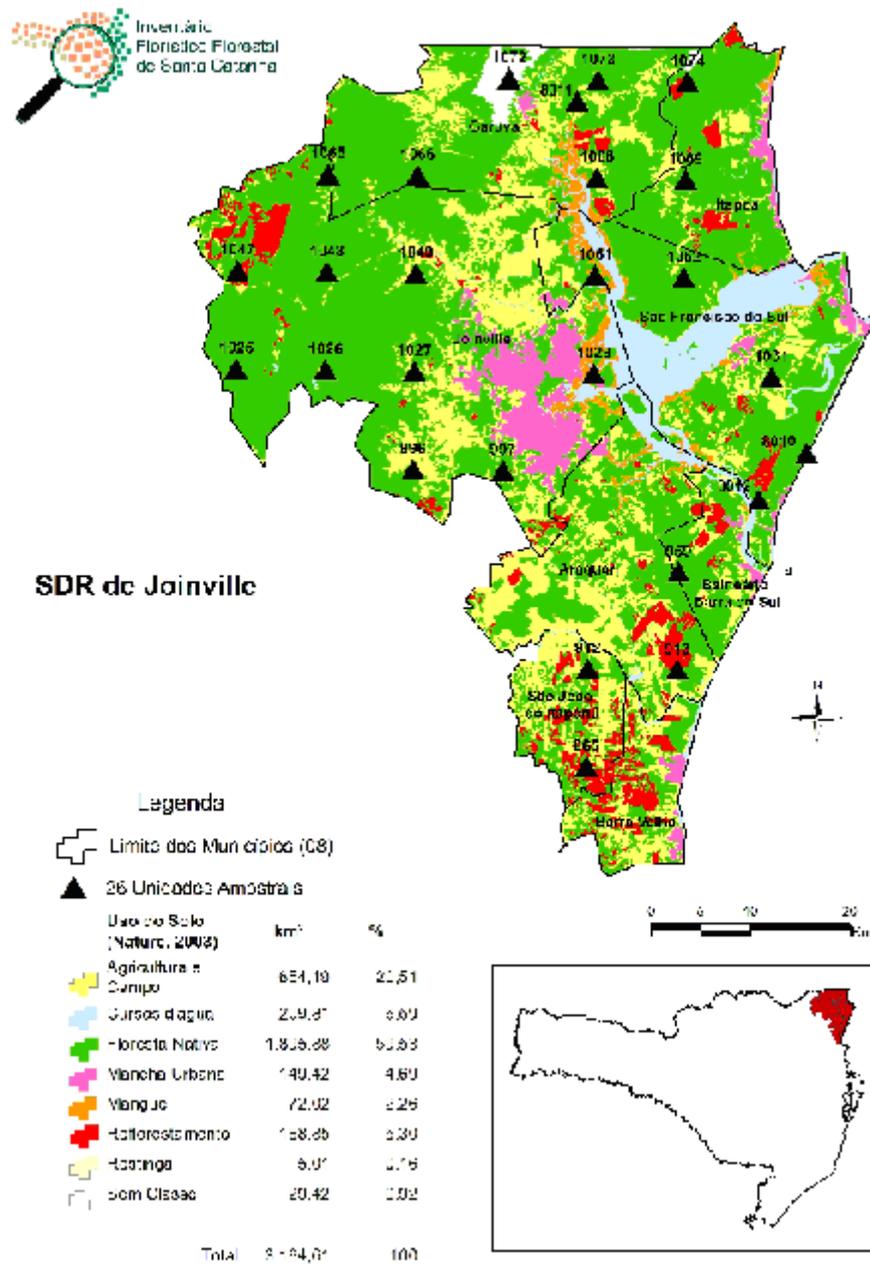


FIGURA 10 – MAPA DE VEGETAÇÃO DE JOINVILLE

Fonte: IFF (2010)

Para criar o atributo de vegetação foi observado que a única forma vegetal presente na região que impõe alguma restrição à ocupação urbana é o manguezal, por isso, esse mapa foi definido com apenas duas classes. A primeira representa a floresta ombrófila densa existente na região e que foi considerada como resistência em quase toda a área de trabalho com exceção das terras urbanizadas em 1938 e a

segunda registra a área ocupada pelos manguezais, cuja presença dificulta a ocupação urbana.

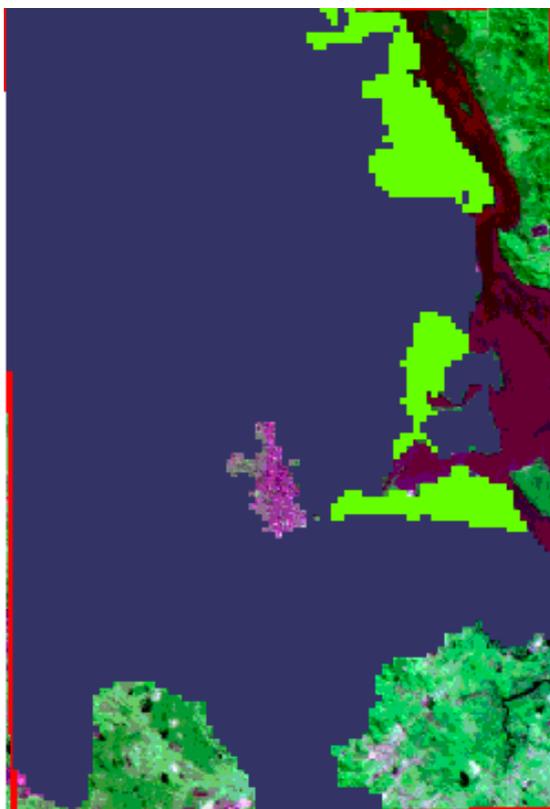


FIGURA 11 – REGIÃO DE JOINVILLE – VEGETAÇÃO

Fonte: INPE (2008)

4.3.3. Área Municipal.

Ao ser recortada a área de trabalho, nela foram incluídas partes de municípios vizinhos, São Francisco do Sul/SC à leste e Araquari/SC ao sul, que acabariam por distorcer a área de desenvolvimento da cidade durante a simulação. Para evitar este inconveniente, foi criado um atributo institucional que limita a criação à área definida pelo Plano Diretor de Joinville de 2008.

Este atributo foi selecionado a partir dos limites do município definidos no mapa, já georreferenciado e mais o vetor da malha municipal disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), cuja escala foi melhorada com base no mapa.



FIGURA 12 – ÁREA DISPONÍVEL NO MUNICÍPIO DE JOINVILLE (EM VERDE)

Fonte: INPE (2008)

4.3.4. Rios de maior porte e a Baía da Babitonga

Devido à utilização das células de 250 metros boa parte dos rios da região não possui representação na simulação, contudo outros trechos próximos à foz Rdo Rio Cachoeira no centro da cidade e o Rio Cubatão e o Canal Três Barras ao norte foram representados como atributos imutáveis cuja área não é passível de urbanização, que devido ao tamanho das células engloba uma parte da área do entorno desses cursos d'água. A Lagoa Saguazu e Baía da Babitonga também possuem este mesmo atributo restritivo à ocupação urbana.

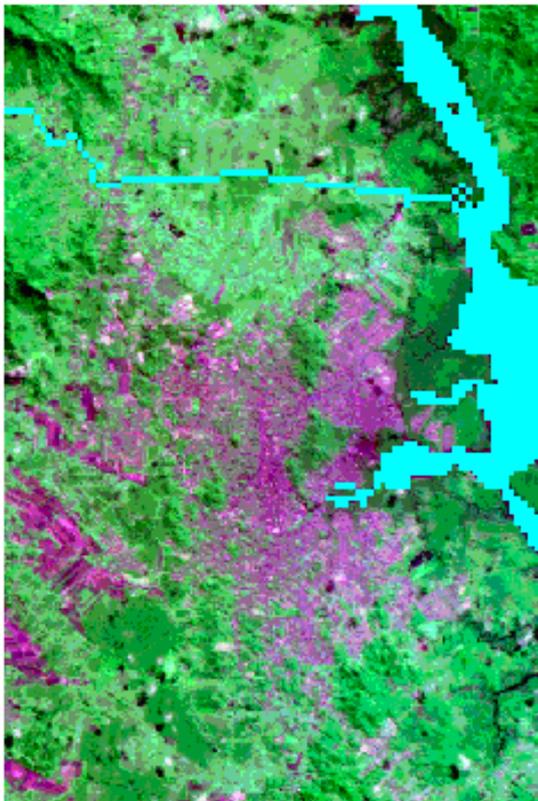


FIGURA 13 – REGIÃO DE JOINVILLE – HIDROGRAFIA

Fonte: INPE (2008)

4.3.5. Áreas de proteção ambiental.

Desde o primeiro Plano Diretor da cidade, em 1973, certas áreas foram protegidas da ocupação urbana. Elas foram divididas em dois tipos, áreas de preservação e áreas de ocupação controlada. As primeiras correspondem ao entorno dos mananciais que abastecem a cidade ou às áreas de manguezais no litoral. As outras são locais que a ocupação é restrita para a proteção das bacias hidrográficas do município.

Este atributo também foi vetorizado a partir do Plano Diretor de 2008 e convertido para formato raster com células de 250 metros.

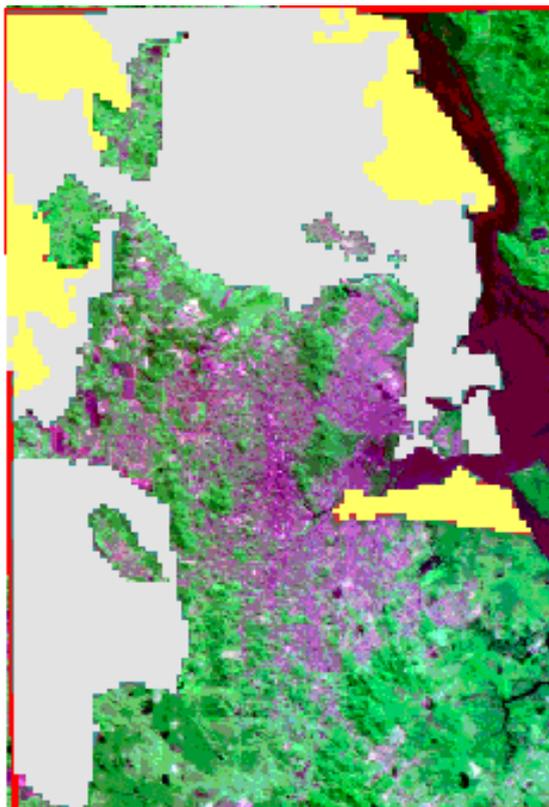


FIGURA 14 – REGIÃO DE JOINVILLE – ÁREAS PROTEGIDAS (AMARELO), ÁREAS CONTROLADAS (CINZA)

Fonte: INPE (2008)

4.2. RESULTADO DA SIMULAÇÃO

Após a inserção de todos os atributos no Citycell[®] passa-se ao processamento dos dados pela simulação de acordo com os parâmetros do sistema

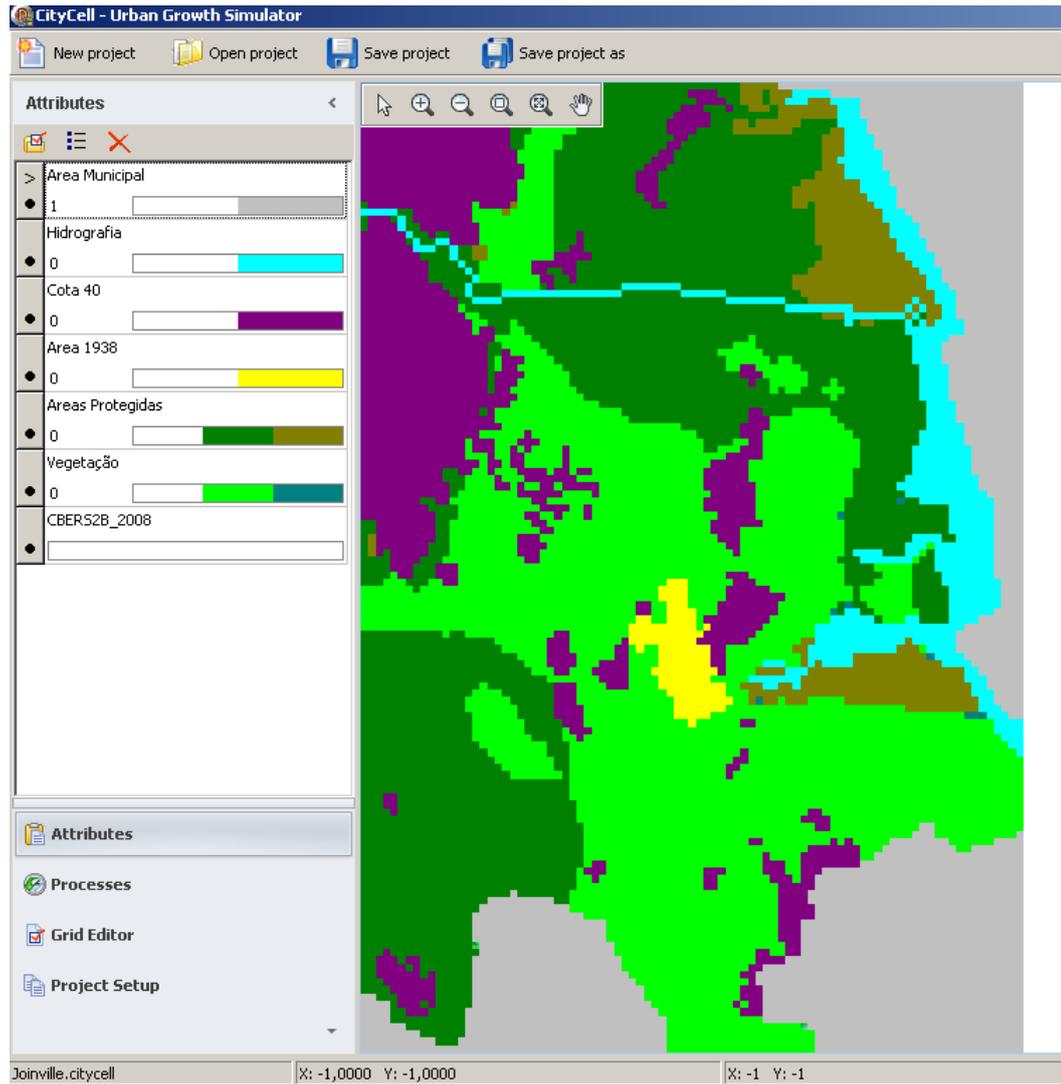


FIGURA 15 – ATRIBUTOS INSERIDOS NO CITYCELL®
Fonte: Dados do CITYCELL®

Esses parâmetros definirão o modo como o modelo simulado irá se desenvolver e com base nos atributos determinados, os resultados serão mais ou menos próximos do desenvolvimento real da cidade estudada.

| Parâmetro | Função | | Espectro | Valor utilizado |
|------------------------------------|---|---|---|---|
| Threshold | informar o limite de crescimento urbano por aumento de área construída (limiar) | permite simular o aparecimento de problemas ambientais decorrentes de excesso de urbanização; permite também diferenciar subsistemas urbanos; permite ainda simular fragilidade ambiental, melhoramentos urbanos e efeitos encadeados | 0 a 100' | valor padrão (1 para todos) |
| Weigth | informar o grau de importância ou peso de cada atributo cadastrado | permite diferenciar os atributos quantitativamente, de modo independente da localização | 1 a 100' | valor padrão (1 para todos) |
| λ (lambda) | descomprimir os valores de PoteCel, ajustando-o a diferentes intensidades de crescimento urbano | permite ajustar o valor do potencial de crescimento urbano a cenários de crescimento quantitativamente diferentes | 1/10' a 10' | variável, conforme processo de calibração |
| μ (mi) | introduzir depreciação no valor das construções, em função do tempo | permite regular o declínio edilício decorrente do passar do tempo, bem como promover revitalização | 0 a 1 | valor padrão (1 para todos) |
| ψ (phi) | especificar o valor de CentCel _{estante} | permite ajustar padrões de formação de vazios urbanos orientados pela retenção fundiária | 1' a 10' | valor padrão (1 para todos) |
| ρ (rô) ext | definir a porcentagem ou a quantidade de células externas à área urbana preexistente que têm crescimento a cada iteração | permite ajustar a intensidade relativa de crescimento externo do sistema | 0 a 1 | valor padrão (1 para todos) |
| ρ (rô) int | definir a porcentagem ou a quantidade de células internas à área urbana que têm crescimento a cada iteração | permite ajustar a intensidade relativa de crescimento interno do sistema | 0 a 1 | valor padrão (1 para todos) |
| θ (teta) | especificar evolução das resistências naturais | emula dinâmica de fatores naturais | 0' a 100' | valor padrão (1 para todos) |
| P | determinar a existência e a intensidade da dinâmica dos atributos naturais | emula uma dinâmica simplificada de dinâmica ambiental, por percolação | 0 a 100' | não utilizado |
| PR | determinar o raio de vizinhança onde incide "P" | permite regular o alcance do crescimento por percolação | 0 até grid máximo | não utilizado |
| Interaction Radius | 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 ou pregnância de trocas nas atividades urbanas de produção espacial, emulando o grau de compartimentação total do sistema | 1 até grid máximo | valor padrão (máximo para todos) |
| Neighborhood Radius | determinar o raio de alcance para as células que realizam crescimento por diferenciação de centralidade celular; é usado nos processos de CA – autômato celular associados ao 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 até grid máximo | valor padrão (1 para todos) |
| α (alfa) | minimizar ou maximizar a resistência natural de um determinado sistema ou subsistema | permite individualizar subsistemas naturais, na cidade ou na região, conforme a escala do trabalho | 1/10' a 10' | valor padrão (1 para todos) |
| α' (alfa-linha) | minimizar ou maximizar o carregamento natural de um determinado sistema ou subsistema | permite individualizar subsistemas naturais, capazes de gerar tensões de crescimento urbano | 1/10' a 10' | valor padrão (1 para todos) |
| β (beta) | minimizar ou maximizar o carregamento urbano de um determinado sistema ou subsistema | permite individualizar subsistemas urbanos, na cidade ou na região, conforme a escala do trabalho | 1/10' a 10' | valor padrão (1 para todos) |
| β' (beta-linha) | minimizar ou maximizar a resistência urbana de um determinado sistema ou subsistema | permite individualizar subsistemas urbanos, capazes de gerar resistência ao crescimento urbano | 1/10' a 10' | valor padrão (1 para todos) |
| Ω (ômega) | minimizar ou maximizar fatores institucionais referidos como carregamentos | permite ajustar a ação institucional como indutora de crescimento urbano | 1/10' a 10' | valor padrão (1 para todos) |
| Ω' (ômega-linha) | minimizar ou maximizar fatores institucionais referidos como resistências | permite ajustar a ação institucional como restritora de crescimento urbano | 1/10' a 10' | valor padrão (1 para todos) |
| I (Impedance) | converter os valores de resistência natural e urbana em impedância | permite informar o grau de resistência às interações que ocorrem na simulação, incidindo sobre tendências de conversão de solo não urbanizado em urbanizado | Σ das resistências ou qualquer valor | valor padrão (Σ das resistências para todos) |
| BLP (buffer limits polar) | informar o grau de abrangência dos pólos de atração urbanos | emula a abrangência dos usos ou funções urbanas que polarizam atração | 1 célula até grid máximo | valor padrão (1 célula para todos) |
| BLA (buffer limits axial) | informar o grau de abrangência do sistema axial | emula a abrangência do sistema viário | 1 célula até grid máximo | valor padrão (1 célula para todos) |
| 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 transportes na simulação | 1' a 100' | 2 para todos |
| DD ₁ (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 que interessa à simulação, | 0 até grid máximo ou % | valor padrão (% das células urbanas) |
| DD ₂ (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 que interessa à simulação | 0 até grid máximo ou % | valor padrão (% das células urbanas) |

TABELA 1 – LISTA DE PARÂMETROS DO CITYCELL®

Fonte: Polidori (2004)

Os parâmetros trabalhados no presente estudo são o Lambda (λ), o ρ interno e externo e a distribuição da tensão de crescimento.

O lambda (λ) está dividido em interno e externo, e representa a capacidade de transformação potencial das entidades espaciais. Essa capacidade é calculada em razão do estado das células vizinhas, como ocorre normalmente nos autômatos celulares. O lambda externo se refere ao potencial de transformação das células externas ao núcleo urbano original enquanto o interno se refere às internas (Polidori: 2004).

O ρ também está dividido em interno e externo, e regula a intensidade do crescimento integrado, indicando o percentual de células aptas a realizar o crescimento urbano. Da mesma forma que o Lambda, o ρ externo se refere ao potencial de transformação das células externas ao núcleo urbano original enquanto o interno se refere às internas (Polidori: 2004).

A distribuição de tensão de crescimento modeladas podem ser de cinco tipos: axial, axial buffer, polar, difusa 1 e difusa 2. A tensão axial ocorre na rota de ligação preferencial entre as células do sistema e a axial buffer ocorre no entorno dessas células gerando uma área de influência do caminho preferencial. A tensão polar ocorre em contexto local, nas células próximas ao atributo que gera a tensão. As tensões difusas se referem aos aspectos relacionados ao espalhamento do crescimento urbano, a de tipo 1 se refere a promoção imobiliária formal e a tipo 2 se refere à autopromoção imobiliária e à promoção imobiliária informal (Polidori: 2004).

A calibração envolve dois procedimentos fundamentais: a) a regulagem do tipo e crescimento, que é determinado pela percentagem de distribuição de tensões, (...); b) regulagem da intensidade de crescimento, que é determinada pelo parâmetro λ . 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 (Polidori, 2004, p.65).

A técnica utilizada para a definição dos parâmetros que levem a simulação atingir resultado semelhante ao obtido pela cidade real foi a de tentativas com a alteração dos parâmetros a cada uma delas. Devido a alguns problemas de instabilidade com a versão beta do software, algumas dessas tentativas foram perdidas.

Como parâmetro de comparação foi feito um processamento sem que fosse incluídas tensões de crescimento com a mancha urbana no ano de 2008 obtida a partir da imagem de satélite. A contagem de células fornecida Citycell[®] foi de 2252 células urbanas e 823 células de borda (células limítrofes entre a área urbanizada e as demais).

O melhor resultado atingido visualmente com os parâmetros de crescimento definidos como: λ interno = 0,1; λ ext = 1; ρ interno = 1 e ρ externo = 0,6 e com as tensões de crescimento Axial: 0,04; Axial Buffer = 0,01; Polar = 0,92; Difusa 1 = 0,02 e Difusa 2 = 0,01. Sua tabela de iterações foi comparada com o número de células obtidas durante o processamento de 2008 e a melhor relação foi atingida na iteração 91.

| Iteration | Urban Count | Border Count |
|-----------|-------------|--------------|
| 85 | 2001 | 842 |
| 86 | 2048 | 881 |
| 87 | 2085 | 912 |
| 88 | 2136 | 957 |
| 89 | 2185 | 997 |
| 90 | 2214 | 1020 |
| 91 | 2254 | 1057 |
| 92 | 2286 | 1083 |
| 93 | 2314 | 1106 |
| 94 | 2348 | 1123 |
| 95 | 2372 | 1141 |

TABELA 2 – TABELA DE RESULTADOS DO PROCESSAMENTO

Fonte: Dados do CITYCELL[®]

Exportando os resultados de volta para o ArcGis e comparando-se ambos os arquivos raster obtém-se uma similaridade de 69,5% das células de crescimento obtidas na simulação em relação às existentes em 2008.

O estudo atual se propôs a comparar o desenvolvimento real da cidade com o simulado num horizonte temporal maior para verificar se, com a calibração correta de parâmetros e atributos, esta simulação permitiria apresentar a evolução da cidade até o presente momento no mundo real.

O grau de sucesso obtido foi considerado suficiente, por ter atingido um índice de praticamente 70% de coincidência de células urbanizadas entre o modelo

e a cidade real. O resultado obtido permite utilizar a calibração utilizada para estudos sobre o desenvolvimento futuro da cidade. As áreas urbanizadas presentes em 2008 foram reconhecidas pela simulação, ainda que não contempladas com o mesmo número de células urbanas constantes da cidade real.

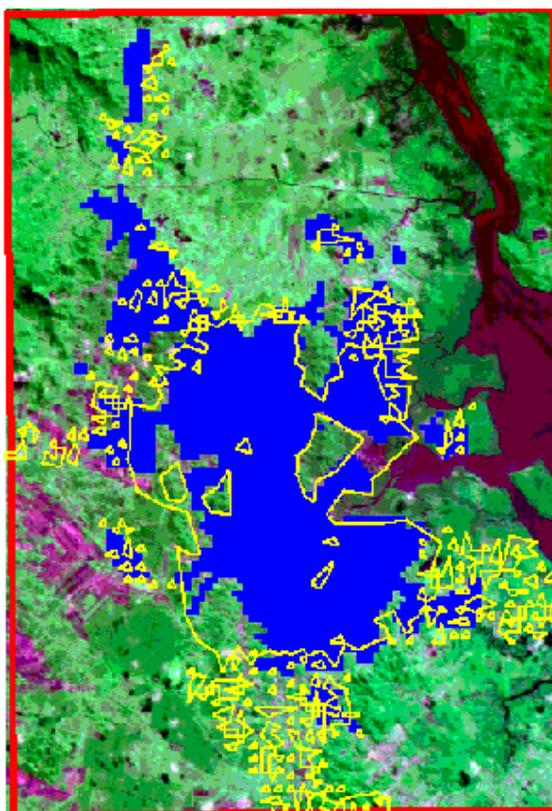


FIGURA 16 – COMPARAÇÃO ENTRE A CIDADE SIMULADA (AMARELO) E A REAL (AZUL).
Fonte: INPE (2008)

A correspondência entre o simulado e o real poderia ter sofrido um ajuste mais fino com a inclusão de alguns indutores de crescimento, contudo, na impossibilidade de modelá-los de forma adequada tomou-se a decisão de não incluir nenhum indutor que não estivesse presente durante todo o período estudado.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O objetivo geral do trabalho era comparar o desenvolvimento real da cidade de Joinville com o simulado com a utilização específica do software *Citycell® - Urban Growth Simulator*. Esta comparação seria compreendida num horizonte de setenta anos, entre 1938-2008, por meio da modelagem com o uso de técnicas de geoprocessamento. Este objetivo foi atingido com a obtenção de um índice de praticamente 70% de coincidência de células urbanizadas entre o modelo e a cidade real. Considerando-se o período estudado e todas as alterações sofridas na legislação, população e economia é um índice em que é possível basear novas simulações visando o desenvolvimento futuro.

As diferenças apresentadas no resultado podem ser creditadas às mesmas alterações ocorridas durante o período estudado. A construção do aeroporto da cidade, o estabelecimento do distrito industrial, variações nos critérios de concessão de licença para loteamentos e muitas outras ocorrências se impõe às condições iniciais e provocam distorções. Por outro lado a inserção destas variáveis já em 1938 distorceria de modo inverso a simulação levando o desenvolvimento urbano se pautar por parâmetros que só seriam inseridos mais tarde.

O crescimento constante simulado pelo software não se assemelha ao crescimento real, que ocorreu em saltos, com períodos de baixo crescimento alternados com períodos de alto crescimento. Por conta disso foram feitas concessões nos parâmetros iniciais de modo a adequar políticas adotadas na época de maior crescimento da cidade à dinâmica urbana observada.

Os objetivos específicos do trabalho contemplavam a modelagem dos atributos necessários à simulação. Foram modelados a área urbana em 1938, a topografia, a hidrografia e a vegetação da região de Joinville, os limites da área municipal e as áreas de proteção ambiental do município. Todos os atributos foram modelados e inseridos no *Citycell®* e contribuíram para o sucesso da simulação.

Dentre eles o que sofreu maior alteração de concepção devido à sua interação com o software foi o de topografia. Para este atributo havia sido imaginado

o uso de um mapa de declividades da região obtido a partir das curvas de nível da carta de 1:25.000 digitalizada pela Epagri/Ciram. Contudo o mapa como foi concebido não pode ser utilizado, pois ele delimitava apenas as regiões cujas declividade impede a ocupação. O mapa não apontava os topos e encostas que apesar de teoricamente permitirem a construção, estavam bloqueados por declividades fortes em cotas mais baixas. O simulador também não tinha como prever estas discrepâncias e por vezes localizou ocupações urbanas nessas áreas, o que não tem correspondência na cidade real. Por isso decidiu-se utilizar o critério de demarcar como topografia as elevações acima da cota de quarenta metros de altitude, que foram sempre protegidos pela legislação municipal.

No que se refere ao ajustamento do modelo obtido, a correspondência entre o simulado e o real poderia ter sofrido um ajuste mais fino com a inclusão de alguns indutores de crescimento, contudo, na impossibilidade de modelá-los de forma adequada, levando em consideração a devida data de origem, tomou-se a decisão de não incluir nenhum indutor que não estivesse presente durante todo o período estudado.

A ferramenta permite a inclusão de grandes equipamentos urbanos, valorização imobiliária e outros indutores, contudo ela não permite que eles sejam programados de modo a influenciar o desenvolvimento da cidade apenas a partir de um determinado ponto/ano. Do modo como a ferramenta foi construída, qualquer atributo adicionado passa a influenciar o crescimento da cidade durante todo o período estudado, mesmo que sua inserção no ambiente real tenha se dado apenas nas últimas duas décadas. Se todos os indutores inseridos no ambiente ao longo do período estudado fossem levados em conta desde 1938 seus efeitos gerariam outros tipos de distorções que não poderiam ser mensuradas no escopo do presente estudo, e não necessariamente contribuiriam para um melhor correlação de células entre o modelo simulado e o ambiente real.

Em relação ao desenvolvimento do Citycell[®] algumas sugestões para melhoria do programa surgiram ao longo do processo de calibração de parâmetros e criação de atributos. A primeira é a possibilidade de incluir atributos que passem a valer somente a partir de uma determinada iteração, o que facilitaria estudos com escopo temporal maior, onde as estruturas de atração e resistência são construídas

ao longo do desenvolvimento da cidade, como ocorreu em Joinville com a construção de diversos atratores, como o aeroporto e a implantação do distrito industrial.

Uma segunda sugestão seria a criação de um modo de interromper processamentos muito longos sem que se corra o risco de corromper o arquivo do projeto fechando o programa sem o devido procedimento. É uma ferramenta útil principalmente quando os processamentos forem feitos em laboratórios de universidades, que tem horário determinado de fechamento. Ou mesmo quando se descobre que foi esquecido de alterar algum parâmetro ou ele foi digitado incorretamente, considerando-se que alguns processamentos podem levar muitas horas, sua interrupção de forma segura possibilitaria um ganho de tempo.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. **Anuário Estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1938. Disponível em http://www.ibge.gov.br/seculoxx/arquivos_pdf/populacao/populacao1938aeb_04_1_a_15.pdf. Acessado em 18/11/2011.
- BRASIL. **Estimativas da população residente em 1º de julho de 2008 segundo os municípios**. Brasília: IBGE, 2008. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2008/pop_2008_TCU.pdf. Acessado em 18/11/2011
- CÂMARA, G., DAVIS JUNIOR, C., MONTEIRO, A. M. **Introdução à Ciência da Geoinformação**, São José dos Campos: INPE, 2003. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acessado em 05/04/12.
- COSTA, José Pedro O. H. **Criação de cenários de expansão urbana com recurso a autómatos celulares no apoio ao planeamento e gestão territorial: Cabeceiras de Basto (Norte de Portugal)**. Porto: Universidade do Porto, 2010. 126p.
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA/CENTRO DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS AMBIENTAIS E DE HIDROMETEOROLOGIA DE SANTA CATARINA (EPAGRI/CIRAM). **Mapas Digitais de Santa Catarina**. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/>. Acessado em 18/11/2011.
- INVENTÁRIO FLORÍSTICO FLORESTAL DE SANTA CATARINA (IFFSC). **Mapa de Uso do solo da Secretaria de Desenvolvimento Regional de Joinville**. Caderno. Joinville, Prefeitura Municipal, 2011. 194p
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). CPTEC. **Imagem de satélite**: Estado – Santa Catarina. São José dos Campos, 2008. Imagem de Satélite Cbers 2B/CCD. 25 ago. 2008
- IPPUJ. FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE JOINVILLE. **Joinville – Cidade em Dados 2010-2011**. Caderno. Joinville, Prefeitura Municipal, 2011. 194p.

- JOINVILLE. **Joinville - Plano de Estruturação Urbana - 1987**. Joinville: Prefeitura Municipal de Joinville, 1987.
- JOINVILLE. **Lei Complementar Municipal nº 261 – Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável do Município de Joinville**. Joinville: Câmara Municipal de Joinville, 2008.
- JOINVILLE. **Lei Municipal nº 1.262 - Plano Diretor de Joinville**. Joinville: Câmara Municipal de Joinville, 1973.
- JOINVILLE. Prefeitura Municipal de Joinville. **Mapa de Joinville**. Joinville: Prefeitura Municipal de Joinville, 1938. Escala 1:10.000. Disponível em: <http://www.webng.com/imigracaojoinville/mapas/1938.jpg>. Acessado em 22/09/2011.
- MARIANI, Antonio Carlos. **Teoria dos Grafos**. Florianópolis: UFSC/CTC/INE. Disponível em: www.inf.ufsc.br/grafos/livro.html. Acessado em 17/04/2012
- O'SULLIVAN, David; TORRENS, Paul. **Cellular models of urban systems**. Londres: Centre for Advanced Spatial Analysis - University College London, 2000 13p.
- PERES, Otavio M.; POLIDORI, Maurício C. Modelos urbanos baseados em autômatos celulares: integrando ambiente natural e o crescimento urbano. In: I Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais. **Anais do I Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais**. Belo Horizonte: UFMG, 2009.
- POLIDORI, Maurício C. **Crescimento Urbano e Ambiente – Um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade**. Porto Alegre: PROPEC-UFRGS, 2004. 328p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. **Agenda 21 Municipal: compromisso com o futuro**. 2. ed. rev. Joinville: Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Municipal, 1998. 143p.
- SARAIVA, Marcus V. P.; POLIDORI, Maurício C. Desempenho de sistemas computacionais: estudo e aplicação em um simulador de crescimento urbano - SACI®. In: XVII Congresso de Iniciação Científica, 2008, Pelotas. **Anais do XVII Congresso de Iniciação Científica**. Pelotas: UFPel, 2008.

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

SAURIM, Eduardo. **Crescimento urbano simulado para Santa Maria-RS**. Porto Alegre: PROPUR-UFRGS, 2005. 140p.

TERNES, Apolinário. **Joinville, a construção da cidade**. São Bernardo do Campo: Bartira Gráfica e Editora S/A, 1993.

TORRENS, Paul. **How cellular models of urban systems work**. Londres: Centre for Advanced Spatial Analysis - University College London, 2000 75p.