

**Simulação de evolução urbana por
algoritmos: Modelagem por redes neurais
baseado em agrupamento difuso e GIS.**

**Danilo Cicero Lima Silva¹, Gabriela Fonseca Paradela², Victor Hugo Fozzati
Pastore³, Eurico Luiz Prospero Ruivo⁴**

¹ Faculdade de Computação e Informática – Universidade Presbiteriana
Mackenzie (Mackenzie)
Brasil, SP, São Paulo, Rua da Consolação 930 - Prédio 31, 1º
andar

{31803881@mackenzista.br, 31910701@mackenzista.br,
31861954@mackenzista.br, eurico.ruivo@mackenzie.br}

***Abstract.** In this Project, a methodology was applied to simulate the urban growth of the capital of São Paulo using data from an instant (a decade) to predict the next, where the Fuzzy logic algorithm is used for grouping and classification. Training data was used so that we could test the accuracy of the models and then used real data obtained from graphical representation on a map, GIS simulation, and obtaining the probable accuracy of the simulations.*

***Resumo.** Neste Projeto foi aplicado uma metodologia para simular o crescimento urbano da capital de São Paulo usando dados de um instante (uma década) para prever o próximo, onde o algoritmo de lógica Fuzzy é usado para o agrupamento e classificação. Foram usados dados de treinamento para que se possa testar a precisão dos modelos e então usados dados reais obtidos da representação gráfica em mapa, simulação utilizando GIS, e obtendo a precisão provável das simulações.*

Palavras - chave: Crescimento Urbano; Agrupamento; Rede Neural; Rede Multicamadas Feedforward; GIS.

1. Introdução

Por séculos, o ser humano tem o costume de sempre se aventurar ao desconhecido em busca de satisfazer os seus desejos e necessidades do momento. Seja persuadido por estímulos alimentícios ou climáticos, os ancestrais da humanidade continuamente mantiveram este hábito de cruzar fronteiras para alcançar uma melhor qualidade de vida. De uma forma semelhante, é possível observar que este fenômeno nunca deixou de existir, pois ele foi ressignificado ao ambiente urbano e influencia diretamente a dinâmica das metrópoles atuais. Porém em um contexto particularmente diferente do anterior, um deslocamento populacional moderno traz junto com ele algumas consequências, tanto positivas como negativas. Consequentemente a importância sobre estudar crescimento urbano também aumentaram, a fim de prever, e se possível, evitar problemas sociais, populacionais por exemplo, causados por superlotação ou falta de recursos.

A constante migração dos povos, seja em um contexto global ou até em um nível menor, como um bairro, por exemplo, é um assunto de extrema importância pois ela é inevitável e impacta na vida de todas as pessoas ao redor [Catumba et al 2020]. A urbanização surgiu recentemente como uma nova e empolgante direção para a pesquisa evolutiva baseada em nossa crescente compreensão da rápida evolução combinada com a expansão de novos habitats urbanos. A urbanização pode influenciar a evolução adaptativa e não adaptativa em espécies urbanas [Miles et al. 2020], mas os padrões generalizados e a previsibilidade das respostas evolutivas urbanas dentro das populações permanecem obscuros. Assim, é necessário que este âmbito seja estudado cada vez mais, para que os governantes, principalmente, tenham conhecimento dos diferentes cenários que lhe são apresentados constantemente e tomem as melhores medidas a fim garantir o suporte necessário a esses povos.

Compreender esses padrões de evolução urbana melhora a capacidade de promover a persistência das espécies diante da urbanização e mitigar alguns dos desafios, como problemas sociais, que a adaptação pode trazer. O objetivo desta pesquisa foi simular ambientes complexos urbanos em sistemas computacionais além de seus componentes. Por meio de técnicas de redes neurais, lógica fuzzy e sistemas de informação geográfica (GIS), previmos principalmente o padrão de crescimento urbano e interpretamos os diferentes cenários obtidos por meio dos algoritmos.

2. Teoria

Estudar as muitas facetas do espaço urbano é possível com o uso de diversos modelos. Estes vão desde a análise da urbanização até os fatores físicos e socioeconômicos que afetam o crescimento urbano. Estudar como uma cidade cresce é um processo muito complexo devido ao envolvimento de muitos atores com diferentes padrões de comportamento em vários prazos e locais.

Por exemplo, Yan Liu (2011) em seu artigo apresenta a aplicação de um

modelo de autômato celular com restrição difusa para simular os processos espaço-temporais de crescimento urbano na cidade de Gold Coast em rápido crescimento no sudeste de Queensland, Austrália. Neste estudo, o crescimento urbano é modelado como um processo espaço-temporal contínuo, influenciado por uma série de regras de transição primárias e secundárias: onde as regras de transição primária referem-se à tendência de desenvolvimento de uma área e o impacto de suas unidades adjacentes sobre esse desenvolvimento e as regras de transição secundárias refletem o impacto de fatores ambientais e institucionais no desenvolvimento urbano. A aplicação do modelo fornece uma ferramenta para explorar cenários de crescimento urbano sustentável sob diferentes controles socioambientais e fatores de planejamento, e seus vários cenários de crescimento urbano gerados pelo modelo demonstram o impacto do planejamento e gestão da mudança do uso do solo na sustentabilidade ambiental, sociedade e economia.

É notável a grande quantidade de modelos que usam autômatos celulares e redes neurais para entender melhor o crescimento urbano. Estudos mostram que as técnicas de inteligência artificial superam os modelos estatísticos quando o assunto é crescimento urbano. Um exemplo a ser citado é o artigo publicado por Vahid Dabbaghian et al (2010), que é um modelo de simulação aplicável ao padrão de migração gerado pela interação entre a mudança na estrutura social familiar e os fatores de atração sociais positivos ou negativos de um bairro. Três cenários comparativos são estudados para demonstrar o impacto da ocupação, densidade, influência social da vizinhança e um conjunto de fatores de atração social negativa na vizinhança. Os resultados representados pela rede celular deste estudo mostram que a mobilidade residencial é afetada pelas taxas de densidade, fatores domiciliares individuais e atratividade do bairro.

Nossas duas principais diferenças em relação a esses outros estudos estão no método que usamos para modelar o crescimento urbano e nos dados que utilizamos baseado no modelo integrado de Grekousis et al. (2013). Não usamos conjuntos de dados compostos de células automatadas ou arte raster para modelar o crescimento urbano - em vez disso, usamos análises geo-demográficas básicas para determinar variáveis como população e edifícios. Depois disso, uma rede neural prevê o estado futuro da urbanização para cada unidade espacial individual. O processo usa uma combinação de diferentes métodos porque os dados geralmente mostram correlação espacial positiva ou negativa. Em vez de examinar pixels ou áreas separadas, consideramos a evolução do crescimento urbano em regiões próximas e também consideramos as mudanças geográficas incorporando o tempo em nossa análise.

3. Metodologia

A metodologia empregada neste TCC, baseia-se em literaturas que exploraram o crescimento urbano por meio de algoritmos. Tais literaturas são uma coleção de artigos científicos e apresentam modelos capazes de guiar uma possível reprodução do crescimento urbano de um local. Implementou-se tal modelo em sistemas computacionais. Ou seja, utilizou-se de um software em que se simula o

contexto de uma cidade, obtendo os dados para gerar o ambiente por meio de sistemas de informação geográficos. Além disso, utilizou-se dados geográficos usados de fatores para o comportamento dos indivíduos. Baseado nesses parâmetros, o algoritmo de redes neurais determina como os indivíduos se comportam na simulação.

Um algoritmo de lógica Fuzzy é usado para o agrupamento e classificação, seja dos indivíduos ou dos locais do ambiente [Grekousis et al. 2013]. Foram usados dados de treinamento para que se possa testar a precisão dos modelos e então usados dados reais obtidos da representação gráfica em mapa, simulação de GIS, e obtendo a precisão provável das simulações. Após estes processos citados anteriormente, foram analisados e interpretados os cenários obtidos a fim de concluir a relação dos modelos com a simulação do mundo real e quais questões sociais específicas merecem uma devida atenção diante aos possíveis cenários que a evolução do crescimento urbano pode causar.

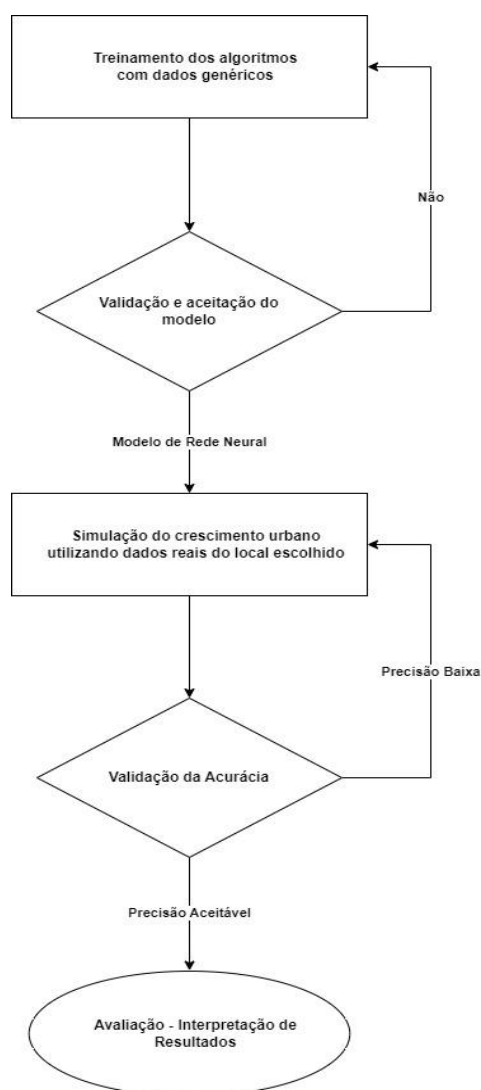


Figura 1. Etapas da Modelagem (Fonte: Elaboração própria.)

3.2 Compreensão dos algoritmos pesquisados

Para o desenvolvimento do modelo em software foi necessário compreender como agem os algoritmos que compõem o modelo, entre eles: algoritmo de lógica Fuzzy e algoritmo de múltiplas camadas de inteligência artificial, Perceptron.

3.2.1 Agrupamentos e lógica Fuzzy

Os Agrupamentos e lógica Fuzzy são os principais métodos para conseguirmos compreender a movimentação do espaço urbano. Conseguimos medir a diferença, em quantidade, das variáveis utilizadas durante as décadas (nº de lotes residenciais, por exemplo). No contexto deste projeto, agrupamos diferentes regiões com base nos dados obtidos das variáveis utilizadas. Isso significa que uma região com uma taxa de uso residencial pertence a um grupo específico e uma região com uma taxa de uso industrial pertence a um outro grupo, por exemplo.

Relacionamos a divisão de espaços em apenas um nível, os bairros. Assim, foram atribuídas coordenadas de variáveis para cada unidade. A lógica Fuzzy, por sua vez, consiste em classificar entidades, não somente em falso ou verdadeiro, mas sim em conseguir fazer uma medição para um valor que esteja entre essas duas afirmações. Com isso, podemos definir algum objeto como 0,2, o que representa que ele não é exatamente falso (0), mas sim está próximo dele. Ou 0,8, que representa estar próximo do verdadeiro (1).

Utilizando nosso contexto, com os agrupamentos definidos, é possível classificar os bairros, mas não somente definindo que aquela região pertence aquele agrupamento, mas sim entender que ele está mais próximo de um do que de outro agrupamento. Com isso, conseguimos comparar os valores de cada região com suas adjacentes durante o tempo e fazer uma análise de uma mudança, ou a ausência dela, da população que ali ocupa.

3.2.2 Perceptron de múltiplas camadas

O algoritmo foi treinado de maneira supervisionada, recebendo dados de entrada com saídas rotuladas conhecidas. As entradas são passadas aos neurônios da primeira camada (camada de entrada), submetidas ao processamento por meio de pesos sinápticos e funções de ativação e esses valores são passados aos neurônios da próxima camada e assim sucessivamente até que se tenha, na última camada, as saídas previstas pelas entradas fornecidas.

Calcula-se o erro que a rede cometeu por meio da comparação das saídas previstas com as saídas esperadas, conhecidas a priori, e, por meio da retropropagação do erro, os pesos sinápticos são ajustados. Esse processo de cálculo de saída prevista, erro em relação à saída desejada e retropropagação do erro é repetido até que o erro calculado esteja abaixo de certo limiar estabelecido.

Retropropagação de erro consiste em aumentar a acurácia do modelo de acordo com a taxa de erro obtida após a passagem pelo neurônio. Durante o treinamento do

algoritmo, é esperado uma saída já conhecida de dados. Enquanto o algoritmo não atinge uma projeção próxima dessa saída esperada, o próprio algoritmo altera seus pesos atribuídos em suas camadas. Até que a projeção atinja uma acurácia aceitável para utilização do modelo [Almeida, 1989].

Neste caso, utilizamos os dados populacionais da cidade para treinamento do algoritmo, usando os dados do ano de 2000 como entrada, e os dados de 2010 como saída esperada. Foram utilizadas 200 camadas no processamento da rede com 8 neurônios de entrada e 4 de saída. Após o sistema estar consideravelmente calibrado, utilizamos os dados de 2010 como entrada dessa vez, e obtemos a projeção do tempo seguinte.

3.3 Escolha do local indicado

O local escolhido para a aplicação do modelo foi a cidade de São Paulo, capital do estado de São Paulo. Atualmente, a cidade é uma das maiores metrópoles do mundo. Não somente em poderio econômico, mas em extensão territorial também, com 1521 km² de área. Além disso, é a 5^a cidade mais populosa de todo o mundo. Trata-se de cerca de 22,5 milhões de habitantes, de acordo com cálculos.

Devido a essa enorme quantidade de território e pessoas, entendemos que a escolha dessa megalópole é um ótimo estudo de caso. A cidade possui grande trânsito de pessoas diariamente, grande migração de residentes entre os bairros e zonas, e conforme o tempo a população foi preenchendo as cidades que estão em volta.

Assim, o modelo aplicado na cidade tenta explicar e demonstrar a movimentação de indivíduos durante os anos, e então levantar questões estratégicas devido à importância da cidade no cenário federal e mundial.

Vale ressaltar que não houve alterações na subdivisão geográfica da cidade de São Paulo desde a lei nº11220 de 20 de maio de 1992. Além disso, não foram consideradas alterações na jurisdição de zoneamento na cidade.

3.4 Coleção dos dados

Realizada uma análise, relacionamos as variáveis que acreditamos ser os principais fatores geográficos para descrever o desenvolvimento urbano populacional e suas migrações.

As principais variáveis utilizadas no modelo são:

- população, para descrever a quantidade de indivíduos que ali preenchem e esse é o principal vetor para esse estudo.
- nº de lotes, para entender a quantidade de recintos que podem ser ocupados, ou não, dentro do local estudado.
- uso residencial dos lotes, que descreve a taxa de uso e a influência daquela região para moradia da família.
- uso público dos lotes, que consiste na frequência que os cidadãos utilizam de espaços que são de propriedade do governo e não possuem uma finalidade definida,

como praças públicas e parques.

- uso de serviços dos lotes, que trata-se da taxa de uso dos locais para utilização de serviços da cidade, como estações ferroviárias ou unidades de tratamento elétrico.
- uso industrial dos lotes, que busca entender os locais que possuem indústrias ou fábricas e a relação da quantidade de pessoas que ali exercem suas profissões.
- outros tipos de uso dos lotes.

Obtido as variáveis, essas são aplicadas a cada bairro da cidade de São Paulo, além de que foram coletadas as mesmas variáveis para anos de três décadas diferentes: 1991, 2000 e 2010.

O cálculo efetuado dentro do algoritmo computacional trata os dados por taxa em porcentagem. Isso significa que houve uma normalização dos dados para que ficassem em uma mesma escala mas que ainda pudessem ser relacionados entre as décadas sem perder seu valor real.

Os dados foram obtidos por meio do site da Prefeitura de São Paulo (prefeitura.sp.gov, População e Planejamento Urbano, População Recenseada, Taxas de Crescimento Populacional e Densidade Demográfica; e Relação de Área de Terreno, Área Construída e Nº de Lotes por Tipologia de Uso).

4. Resultados e Discussão

Neste trabalho foi usado agrupamento difuso e redes neurais para analisar e prever o crescimento urbano utilizando dados de instante para previsão do próximo. O agrupamento por lógica fuzzy fornece uma descrição do estado urbano de cada unidade espacial, e a rede neural então prevê o estado futuro da urbanização.

O principal objetivo do agrupamento é detectar estruturas comuns e criar um conjunto de dados. No método proposto, as entidades espaciais são agrupadas de acordo com características comuns, como população, densidade populacional, uso do solo, uso da construção. As estimativas de crescimento urbano são baseadas em dados de população e construção, não em imagens de satélite [Grekousis et al. (2013)].

Cluster	População	Crescimento	Construção Total	Construção - Residência	Construção - Comércio	Construção - Indústria	Construção - Outros
A	927.502	1.113653669	39.354.167	27.321.893	8.374.172	3.576.039	82.063
B	903.258	1.167041187	25.317.894	18.765.607	5.151.699	1.334.031	66.557
C	1.078.423	1.06487282	36.979.467	24.911.138	9.556.134	2.415.889	96.307
D	1.024.495	1.177991437	21.248.589	16.120.310	3.776.121	1.313.507	38.651

Figura 2. Dados de referência para agrupamento das regiões (coleção de dados) (Fonte: Elaboração própria.)

A imagem acima representa o centro dos agrupamentos gerados a partir dos dados coletados, para que cada bairro seja alocado em um grupo específico, utiliza-se a maior assimilaridade do mesmo com os valores gerados pelos centros.

Grupo A: É possível identificar que é o grupo com maior número de construção total. Entretanto, é somente o 3º em população. Isto pode ser explicado

pela alta quantidade de construção de indústria (o maior entre os grupos) e o 2º maior em construção de comércio. Ainda assim, é o maior em construção residencial entre os outros grupos, mas a taxa de crescimento da população sendo a segunda menor evidência um deslocamento da população que antes estava no grupo A e se locomoveu para outro grupo.

Grupo B: identifica-se por uma zona que está em crescimento. É a segunda maior taxa de crescimento entre os grupos, bem próximo do grupo com a maior taxa. Isso pode ser explicado pelo baixo número da população (menor entre os quatro) e o alto número de construção residencial e de comércio.

Grupo C: local onde possui grande construção de comércio, além de ser a segunda em construção de indústria e residencial. Entretanto, é a que possui menor taxa de crescimento entre os grupos. Devido ao maior número de população e somente o segundo em construção total, permite identificar uma menor margem para novos moradores da região.

Grupo D: este por sua vez é o que possui maior taxa de crescimento. Apesar de ser o segundo grupo com maior número de população, é a região com menor índice de construção total. O que deve ser visto nessa área é a construção total se aproximar cada vez mais dos outros grupos (seja em construção residencial, comércio e industrial) para atender essa população que só cresce no local.

Após o agrupamento e a inserção dos dados na rede neural, foi feita uma matriz de confusão (Figura 3) para obter a acurácia e validação dos resultados. Foi obtida uma acurácia média de 53%.

Real	A	19	3	2	3
	B	7	11	4	4
	C	4	5	13	2
	D	3	2	5	8
		A	B	C	D
		Predito			

Figura 3. Matriz de confusão (Fonte: Elaboração própria.)

No fenômeno da expansão existem várias características comuns que perpassam o tempo histórico do desenvolvimento da cidade de São Paulo. As tendências e pressões encontradas pelos bairros podem ser discernidas a partir do Mapa de previsão, simulação de GIS (Figura 4) para as décadas de 1981 à 2020.

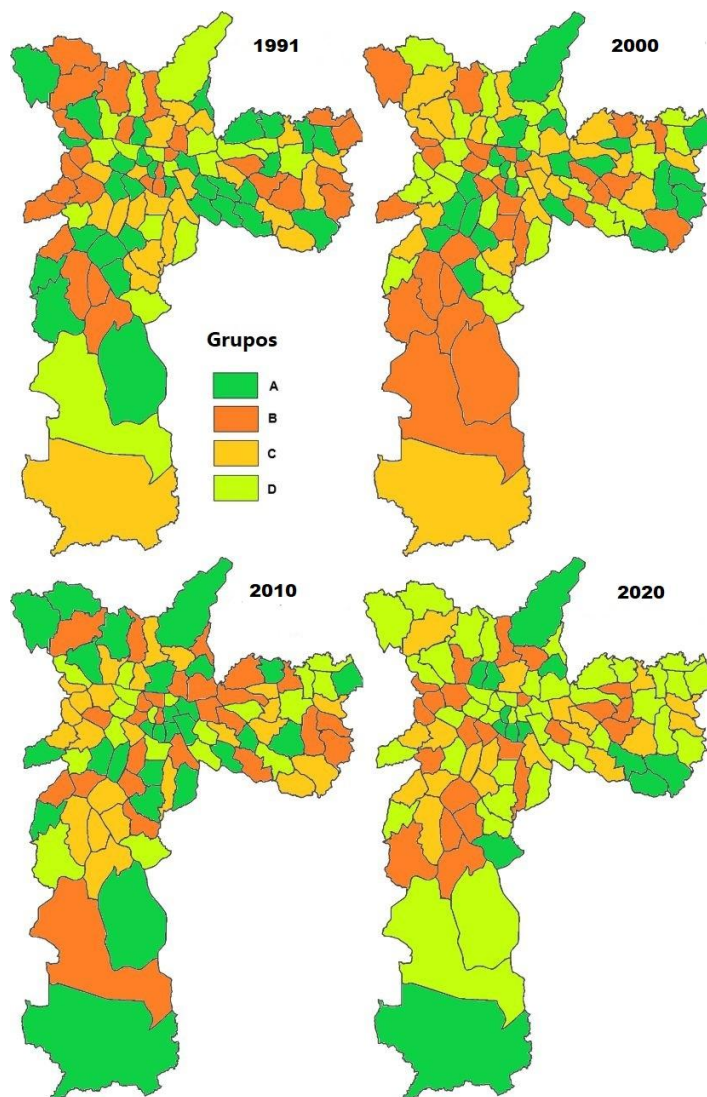


Figura 4. Mapa de previsão, simulação de GIS (Fonte: Elaboração própria.)

O fenômeno da expansão da cidade de São Paulo é comum a qualquer grande cidade, resultado de um conjunto complexo de forças socioeconômicas e culturais inter-relacionadas. A população está concentrada em cidades que oferecem muitos serviços e locais de trabalho, atraindo moradores e a construção de novos edifícios, impulsionando o desenvolvimento urbano. Por exemplo, o valor da terra é frequentemente considerado o principal impulsionador dos padrões de desenvolvimento socioeconômico. No entanto, em qualquer momento da história atual ou antiga, o valor da terra é menor na periferia e muito caro nos centros urbanos.

Observamos um estado polarizado da área metropolitana de São Paulo entre bairros com alto caráter urbano (representantes dos grupos A e B) e bairros com alta quantidade de população (representados nos grupos C e D). Durante a década de 1981-1991, 16,84% dos bairros estavam associados ao grupo D, e progressivamente o percentual atingiu 26,32% em 1991-2000 (Figura 1).

Tabela 1. Associação aos Grupos dos bairros de São Paulo por décadas.

Bairro de São Paulo	Décadas				Bairro de São Paulo	Décadas				Bairro de São Paulo	Décadas			
	1991	2000	2010	2020		1991	2000	2010	2020		1991	2000	2010	2020
Água Rasa	A	C	D	B	Ipiranga	C	C	B	C	Raposo Tavares	B	B	A	D
Alto de Pinheiros	C	D	B	D	Itaim Bibi	C	A	A	C	República	A	A	D	A
Anhanguera	A	B	A	D	Itaim Paulista	B	A	A	D	Rio Pequeno	B	D	C	C
Aricanduva	A	B	A	D	Jabaquara	C	C	A	D	Sacomã	D	D	A	D
Artur Alvim	A	C	C	B	Jaçanã	A	D	B	D	Santa Cecília	A	A	B	D
Barra Funda	D	B	D	D	Jaguara	A	B	C	B	Santana	C	A	A	C
Bela Vista	B	B	A	A	Jaguareé	B	D	C	B	Santo Amaro	A	B	C	B
Belém	A	C	A	D	Jaraguá	B	C	B	C	São Domingos	B	C	D	D
Bom Retiro	D	B	B	D	Jardim Ângela	A	B	D	B	São Lucas	A	B	A	D
Brás	D	B	A	D	Jardim Helena	B	D	D	D	São Mateus	C	D	D	A
Brasilândia	B	B	A	D	Jardim Paulista	A	B	C	B	São Miguel	A	B	D	D
Butantã	B	D	C	C	Jardim São Luis	B	B	C	C	São Rafael	C	A	C	A
Cachoeirinha	D	D	B	D	José Bonifácio	C	A	B	D	Sapopemba	A	D	B	C
Cambuci	A	D	A	A	Lajeado	C	C	C	C	Saúde	D	B	A	D
Campo Belo	A	A	B	C	Lapa	D	D	C	B	Sé	B	D	B	D
Campo Grande	A	A	C	B	Liberdade	B	A	A	A	Socorro	B	B	C	B
Campo Limpo	B	C	B	C	Limão	B	C	D	A	Tatuapé	D	A	B	C
Cangaíba	A	C	B	D	Mandaqui	B	C	C	B	Tremembé	D	A	A	A
Capão Redondo	A	D	A	D	Marsilac	C	C	A	A	Tucuruvi	C	D	C	B
Carrão	C	B	B	C	Moema	C	D	B	C	Vila Andrade	A	A	B	C
Casa Verde	A	D	C	A	Moóca	C	C	A	D	Vila Curuçá	A	D	D	D
Cidade Ademar	C	D	B	D	Morumbi	C	A	A	D	Vila Formosa	A	D	C	C
Cidade Dutra	B	B	C	B	Parelheiros	D	B	B	D	Vila Guilherme	B	D	B	D
Cidade Líder	B	B	C	B	Pari	B	A	D	B	Vila Jacuí	C	C	B	C
Cidade Tiradentes	B	A	B	D	Parque do Carmo	B	C	A	C	Vila Leopoldina	B	B	C	B
Consolação	C	D	B	D	Pedreira	D	D	D	A	Vila Maria	D	C	B	D
Cursino	C	B	C	B	Penha	D	C	B	D	Vila Mariana	C	B	D	B
Ermelino Matarazzo	A	B	A	D	Perdizes	A	B	D	D	Vila Matilde	B	A	D	B
Freguesia do Ó	D	D	C	B	Perus	B	D	A	D	Vila Medeiros	C	A	A	A
Grajaú	A	B	A	D	Pinheiros	A	A	D	B	Vila Prudente	A	A	D	D
Guaianas	B	A	B	C	Pirituba	A	C	A	D	Vila Sônia	D	C	D	B
Iguatemi	A	B	C	A	Ponte Rasa	D	A	C	B					

Fonte: Elaboração própria.

Cabe salientar que a distribuição do aumento populacional não foi uniforme. Entre a década de 1981-1991 o crescimento populacional foi de 1,1 milhões [Bernadette e Rosana, 1999], mas mais de 63% desse aumento se localizou em áreas consideradas periféricas. Na década seguinte o crescimento foi ainda maior e a principal parte do seu aumento aconteceu nessas regiões periféricas [Sandroni 2010], associadas aos grupos C e D devido ao seu alto índice de população e em pouca quantidade aos grupos A e B, devido à característica de alto número de construção residencial entre os outros grupos (Figura 2).

Este aumento foi levemente absorvido pela expansão urbana, perceptível ao comparar com 2000-2010 onde esse percentual desce para em torno de 70%, analisando este fato no Mapa de previsão, simulação de GIS (Figura 4) é possível perceber que houve uma alteração notável nos grupos em que as com menor índice de urbanidade representavam na década anterior, isso se explica às características de crescente índice de comércio e principalmente residências construídas nestas áreas durante a década observada, o que aproximou neste período de tempos tais regiões aos grupos A e B (e em menor quantidade ao C) (Tabela 1). Durante a década seguinte, o processo de migração e crescimento populacional diminuiu consideravelmente, mas a tendência à formação de favelas continuou e outros anéis de pobreza se formaram na periferia da cidade [Baeninger, 2005], perceptível ao notar o retorno de muitas regiões para o Grupo D, notável por seu alto índice de população porém menor número de construção total.

A hipótese elaborada para o futuro é que espera-se certa continuidade da

tendência registrada nas últimas décadas. A capital e seu centro deverá permanecer como um pólo que atrai, mas que também expulsa muitos migrantes para os demais municípios da Região Metropolitana e para as outras regiões da Capital de São Paulo. No que se refere a migração, considerou-se a evolução recente observada na cidade de São Paulo para elaborar as tendências futuras, uma vez que, apesar de no passado mais distante a migração ter desempenhado um papel decisivo no crescimento populacional, no presente reduziu seu peso no ritmo de incremento populacional paulista [Baeninger, 2005].

Considerando-se este padrão migratório, com o processo de periferação do desenvolvimento no território paulista e a diminuição da capacidade da Região Metropolitana de reter a população migrante, acredita-se que este comportamento não deva se alterar drasticamente no futuro [Bernadette e Rosana, 1999]. Levando a uma baixa possibilidade de que haja uma alteração de grupo para uma região representada pelo Grupo D (ver Figura 5 e 6), onde está o maior foco de população.

Presente nas Figuras 5 e 6 está representado um exemplo de comparação entre a década de 1991 e a projeção de 2020. Podemos notar a mudança de grupos da cidade de São Paulo das últimas décadas.

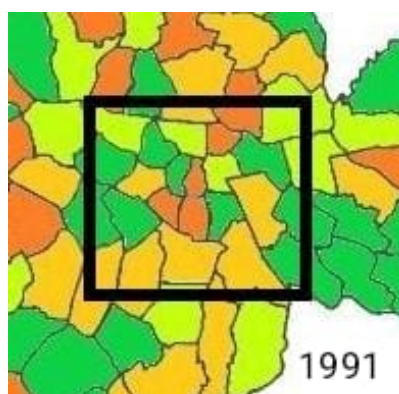


Figura 5. Exemplo de comparação - Centro em 1991 (Fonte: Elaboração própria.)

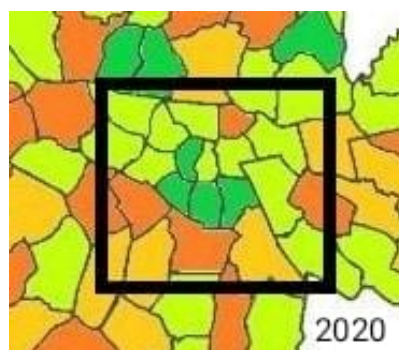


Figura 6. Exemplo de comparação - Centro em 2020 - Projeção (Fonte: Elaboração própria.)

Onde na primeira Figura 5 o grupo A e B são predominantes, e na projeção final (Figura 6) os grupos C e D. O que leva a ser possível analisar que houve uma possível migração de um grande grupo de pessoas para a região central.

As projeções populacionais prospectivas fornecem uma compreensão das tendências futuras no comportamento demográfico, não se pode esquecer que os resultados de uma projeção de representam uma combinação de supostos elaborados sobre as tendências futuras do comportamento populacional. Eles indicam cenários demográficos futuros se as tendências assumidas nas projeções forem confirmadas.

O intenso desenvolvimento urbano de São Paulo nessas décadas analisadas foi desequilibrado, produzindo exclusão e escassez de serviços públicos entre as camadas pobres da população, principalmente nas zonas periféricas. A expansão urbana e a nova demanda por terra criaram então novas centralidades em áreas antes localizadas em anéis de periferia. Transformados em novas centralidades, os preços da terra não eram mais acessíveis para as famílias de baixa renda que viviam em favelas, pagando aluguel em casas modestas ou simplesmente ocupando terras que não lhes pertenciam. Em outras palavras, o aumento do preço da terra – consequência desse aumento da demanda – criou uma situação em que as famílias pobres não podiam mais morar ali e tiveram que se deslocar para novos anéis de periferia [Sandroni, 2010].

O crescimento urbano é um assunto dos mais complexos. A utilização desse modelo tem a finalidade de obter apenas uma projeção sobre o movimento. Entendemos que há outros milhares de fatores que podem influenciar nesse fenômeno, além dos que foram introduzidos neste modelo. Dito isso, notou-se que mesmo com o algoritmo perceptron sendo treinado, houveram desafios para que o mesmo atribuisse os pesos corretos em cada camada e obtivesse uma acurácia maior. Todavia, sabendo dos resultados que as intensas mudanças no uso do solo demográfico podem gerar, a população e os planejadores urbanos devem considerar a possibilidade de aplicar ações para controlar e reduzir esse distúrbio, além de se adequar às mudanças já ocorridas.

5. Conclusão

Ao usar redes neurais e agrupamentos difusos, surgem novas possibilidades para resolver problemas no espaço demográfico. Este modelo integrado proposto por Grekousis et al (2013). apresenta grande dinamismo e, a partir da obtenção do devido conhecimento sobre as suas tecnologias presentes, simplicidade de uso, tudo isso graças à sua estrutura de etapas simples.

O agrupamento difuso presente neste modelo agrupou efetivamente dados dos anos, graças a cada um ter seus próprios perfis separados. As tendências futuras foram reveladas pelo estímulo temporal e espacial do estudo. Uma rede neural foi utilizada para prever o estado de urbanização da capital de São Paulo, bem como um perfil mais preciso da área de estudo.

Esta abordagem metodológica forneceu resultados mais precisos ao combinar um banco de dados completo, uma extensa modelagem de interação

espacial demográfica e uma linha do tempo que revelou mudanças temporais em seus valores. Além disso, essa abordagem criou um perfil mais confiável do urbanismo futuro graças a um banco de dados eficiente e seus outros métodos usados.

O projeto aplicado neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) forneceu informações sobre as necessidades da capital de São Paulo, examinando a demografia desta cidade, as tendências de construção e os usos dos edifícios. E como percebido no estudo dos referenciais teóricos para este trabalho, muitos estudos (usando várias abordagens de modelagem e ferramentas de simulação) têm sido feitos no campo do crescimento urbano. Uma infinidade de modelos, com características comuns ou específicas, foram desenvolvidos para reconstruir a ocupação espacial e as mudanças no uso do solo.

No entanto, hoje a maioria das técnicas de crescimento urbano usa apenas os dados geográficos históricos, como mapas urbanos, rodoviários e excluídos, para simular os mapas urbanos prospectivos. Neste artigo, adicionando dados de edifícios e população como fatores de tecido urbano, definimos diferentes cenários de simulação de crescimento urbano. Usando dados comuns e disponíveis *online* para a população (como dados topográficos, edificativos e demográficos) para melhorar o realismo de cada simulação e sua adequação ao mundo real. Os resultados permitiram ter diferentes imagens da cidade de amanhã para escolher e refletir sobre as políticas urbanas.

Para possíveis próximos passos deste projeto há a possibilidade de aplicar o modelo integrado em uso para o estado de São Paulo e/ou outros estados brasileiros, de acordo com a disponibilidade de dados do censo de cada região.

Referências

ALBA, Maria; BOTELHO, Maurilio L.; O Estudo da Gentrificação. n. 1, p. 9–37, 2012. Disponível em: <<http://www.revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/5>>.

ALMEIDA, Luís B. Backpropagation in Perceptrons with Feedback. Neural Computers, p. 199–208, 1989. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-83740-1_22>.

BAENINGER, Rosana. São Paulo e suas migrações no final do século 20. São Paulo em Perspectiva, v. 19, n. 3, p. 84–96, 2005. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/spp/a/kBcywBrSdhBNRY96Snq5MpK/?lang=pt>>.

CANOVA, Katia. Urbanidade e Justiça Espacial na cidade de São Paulo: metodologia de análise e subsídio para tomada de decisão no planejamento urbano. 2020, 325 f. Tese (Doutorado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-06082020-200157/en.php>>.

CATUMBA-RUIZ, J; REDONDO, J M ; OLIVAR, G. Application of complex

- networks and indirect influences to non-forced migration. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 1702, p. 012002, 2020. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1702/1/012002>>.
- DABBAGHIAN, Vahid; JACKSON, Piper; SPICER, Valerie; et al. A cellular automata model on residential migration in response to neighborhood social dynamics. *Mathematical and Computer Modelling*, v. 52, n. 9-10, p. 1752–1762, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S089571771000333X>>.
- DAVIS, Kyle F.; D’ODORICO, Paolo; LAIO, Francesco; et al. Global Spatio-Temporal Patterns in Human Migration: A Complex Network Perspective. *PLoS ONE*, v. 8, n. 1, 2013. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0053723>>.
- FAVARETTO, Leonardo Francisco; CATELA, Eva. Potencial criativo e padrões de migração: uma abordagem computacional baseada em agentes. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 19, p. e0200012, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbi/a/JPwsyzhB5s89Qrdj78f6BTx/abstract/?lang=pt>>.
- GREKOUSIS, George; MANETOS, Panos; PHOTIS, Yorgos N. Modeling urban evolution using neural networks, fuzzy logic and GIS: The case of the Athens metropolitan area. *Cities*, v. 30, p. 193–203, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/257097129_Modeling_urban_evolution_using_neural_networks_fuzzy_logic_and_GIS_The_case_of_the_Athens_metropolitan_area>.
- LIU, Yan. Modelling sustainable urban growth in a rapidly urbanising region using a fuzzy-constrained cellular automata approach. *ResearchGate*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/233298261_Modelling_sustainable_urban_growth_in_a_rapidly_urbanising_region_using_a_fuzzy-constrained_cellular_automata_approach>.
- MARTINS, Maria Lucia Refinetti. São Paulo, centro e periferia: a retórica ambiental e os limites da política urbana. *Estudos Avançados*, v. 25, n. 71, p. 59–72, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ea/a/sPx4Qzk3sZzzyDqFJtsRpdr/abstract/?lang=pt>>.
- MEHMOOD, Abid. On the History and Potentials of Evolutionary Metaphors in Urban Planning. *ResearchGate*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/249743139_On_the_History_and_Potentials_of_Evolutionary_Metaphors_in_Urban_Planning>.
- MILES, Lindsay S.; CARLEN, Elizabeth J.; WINCHELL, Kristin M.; et al. Urban evolution comes into its own: Emerging themes and future directions of a burgeoning field. *Evolutionary Applications*, v. 14, n. 1, p. 3–11, 2020. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/eva.13165>>.

NÚÑEZ-LÓPEZ, M.; ALARCÓN RAMOS, L.; VELASCO-HERNÁNDEZ, J.X. Migration rate estimation in an epidemic network. *Applied Mathematical Modelling*, v. 89, p. 1949–1964, 2021. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7486824/>>.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. Planejamento Urbano: Relação de Área de Terreno, Área Construída e Nº de Lotes por Tipologia de Uso. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/licenciamento/desenvolvimento_urbano/dados_estatisticos/info_cidade/ambiente_construido/planejamento_urbano/index.php>.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. População: População Recenseada e Taxas de Crescimento entre 1980, 1991, 2000 e 2010. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/licenciamento/desenvolvimento_urbano/dados_estatisticos/info_cidade/demografia/index.php?p=260265>.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. População: População Recenseada, Taxas de Crescimento Populacional e Densidade Demográfica entre 1980, 1991, 2000 e 2010. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/licenciamento/desenvolvimento_urbano/dados_estatisticos/info_cidade/demografia/index.php?p=260265>.

RACIMO, Fernando; WOODBRIDGE, Jessie; FYFE, Ralph M.; et al. The spatiotemporal spread of human migrations during the European Holocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 117, n. 16, p. 8989–9000, 2020. Disponível em: <<https://www.pnas.org/content/117/16/8989>>.

RATTNER, Henrique. Os custos sociais da aglomeração metropolitana. *Revista de Administração de Empresas*, v. 15, n. 6, p. 39–57, 1975. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rae/a/DM8VTsjVrsqPNn63Dgwjn4y/?lang=pt>>.

RUSSO, Paulo R. Poluição atmosférica: Refletindo sobre a qualidade ambiental em áreas urbanas. *Revista Educação Pública*, v. 2, n. 1, 2005. Disponível em: <<https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/2/1/poluicao-atmosferica-refletindo-sobre-a-qualidade-ambiental-em-areas-urbanas>>.

SANDRONI, Paulo. Urban Development, increasing land prices and instruments to avoid exclusion in São Paulo, Brazil. Blog do Sandroni, 2010. Disponível em: <http://sandroni.com.br/?page_id=559>.

SILVER, Daniel; FOX, Mark Stephen; ADLER, Patrick. Towards a Model of Urban Evolution I: Context. *ResearchGate*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/345686225_Towards_a_Model_of_Urban_Evolution_I_Context>.