

Potencial criativo e padrões de migração: uma abordagem computacional baseada em agentes

Leonardo Francisco Favaretto* 

Eva Yamila da Silva Catela** 

* Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, Brasil
E-mail: : leonardo_fco@hotmail.com

** Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, Brasil
E-mail: evadasilvacatela@gmail.com

SUBMISSÃO: 18 DE MAIO DE 2019 VERSÃO REVISADA (ENTREGUE): 13 DE JANEIRO DE 2020 APROVADO: 13 DE MAIO DE 2020

RESUMO

O presente trabalho formula um modelo computacional baseado em agentes visando compreender o comportamento migratório da classe criativa e os padrões de aglomeração urbana a ele associados, assim como a relação de tais padrões com o potencial criativo. Na formulação do modelo, foram utilizados conceitos de geografia evolutiva econômica, teoria de redes e a literatura de economia criativa. O modelo simula o aprendizado, interação e migração dos agentes, considerando diversidade étnica, política e sexual, assim como as amenidades urbanas e oportunidades de emprego como fatores atratores da classe criativa. Como resultado, observa-se uma relação exponencial entre o potencial criativo e população de uma localidade, sugerindo uma vantagem relativa e absoluta dos grandes centros no que tange ao potencial para inovar. Considerando as variáveis que interferem na velocidade de crescimento do potencial criativo, a quantidade de conhecimento trocado entre os agentes parece exercer um efeito potencializador superior ao número de interações entre agentes.

PALAVRAS-CHAVE | Criatividade; Aglomerados criativos; Redes; Modelo baseado em agentes

ABSTRACT

The present work displays a computational agent-based model that aims to comprehend the migratory behaviors of the creative class and its relationship with the urban agglomeration patterns and the creative potential. In the model formulation, we used concepts from evolutionary economic geography, network theory and creative economy literature. The model simulates the learning, interaction and migration of the agents, taking ethnic, political and sexual diversity into consideration, as well as urban amenities and job opportunities as attractive factors to the creative class. As a result, we observe an exponential relationship between the creative potential and a locations' population, suggesting that big urban centers do have a relative and absolute edge in terms of potential to innovate. Among the variables that interfere in the growth speed of the creative potential, the amount of exchanged knowledge between agents seems to have a bigger effect than the number of interactions between agents.

KEYWORDS | Creativity; Creative cluster; Networks; Agent-based model

1. Introdução

Uma crescente fração dos trabalhadores em países industrializados está empregada em atividades consideradas criativas, tais como engenharia, pesquisa e desenvolvimento, arte, estética, design, entre outras áreas intensivas em conhecimento. A concentração desse grupo de trabalhadores pode ser considerada um fator competitivo importante para uma localidade. Todavia, ao contrário de outros insumos econômicos como o capital e a terra, que têm um baixo ou nulo grau de mobilidade, a concentração da chamada classe criativa é dinâmica, e o mecanismo gerador desses fluxos pode ser potencialmente entendido e influenciado pela política pública.

Florida (2005, 2012) descreve a chamada classe criativa, que segundo ele seria um grupo populacional engajado com trabalhos associados à criação de “significativas novas formas” (FLORIDA, 2012, p. 36), com propensão a residir em centros urbanos que proveem diversidade, tolerância e infraestrutura cultural. Os trabalhos de Florida contribuíram para a integração das ideias de economia criativa, classe criativa e o entendimento da dinâmica do deslocamento da classe criativa.

Axtell e Florida (2006) observam que a distribuição populacional não é homogênea ao redor do globo, e tende a organizar-se em torno de algumas cidades; já a distribuição populacional entre cidades tende a ser achatada. Auerbach (1913) e Zipf (1935) observaram uma regularidade entre a população de uma localidade e a sua posição na lista ordenada das mesmas de acordo com o número de habitantes, na chamada Lei de Zipf, que é uma lei empírica que rege a classificação de tamanho, importância ou frequência dos elementos de uma lista ordenada de forma que o n -ésimo elemento teria uma fração $\frac{1}{n}$ da dimensão do primeiro elemento. O modelo sugerido por Axtell e Florida (2006) consegue reproduzir a Lei de Zipf simultaneamente para a população das cidades e para o número de trabalhadores nas empresas, utilizando para tal a migração de agentes que buscam maximizar o seu retorno dentro do mercado de trabalho.

Spencer (2011), por sua vez, simula a dinâmica social do processo criativo no espaço e tempo com o objetivo de entender como variações contextuais afetam a produção criativa dos indivíduos e, conseqüentemente, das localidades. Ele o faz com um modelo computacional baseado em agentes utilizando fatos estilizados retirados da psicologia social, teoria de redes e geografia econômica para modelar o comportamento dos agentes em quatro tipos de ação: interação social, aprendizado, criatividade e migração.

A partir deste contexto, o objetivo do trabalho aqui proposto é associar a teoria da classe criativa como exposta por Florida (2003, 2005, 2008, 2012) com os padrões de distribuição populacional observados empiricamente e reproduzidos por Axtell e Florida (2006), utilizando para isso um modelo computacional baseado em agentes com ênfase na troca de conhecimento e migração como em Spencer (2011).

A hipótese subjacente é que os movimentos migratórios associados à classe criativa contribuem para a explicação da distribuição populacional descrita pela lei de Zipf. Para isso, será proposto aqui um modelo computacional baseado em agentes de modo a testar se (i) um modelo inspirado na teoria da classe criativa pode reproduzir padrões empíricos de distribuição populacional entre cidades, e (ii) associar os padrões de distribuição populacional encontrados com fatos estilizados sobre a economia criativa referente ao potencial criativo e a diversidade nos grandes centros urbanos.

As seções seguintes estão assim estruturadas: a segunda seção traz a revisão dos conceitos teóricos referentes à classe criativa, sua relação com o desenvolvimento, o paradigma econômico evolucionista e a observação de leis de potência em distribuições populacionais; na seção três é apresentado o modelo proposto; e, na quatro, se faz a análise dos resultados, seguida das considerações finais.

2. Conceitos teóricos fundamentais

Esta seção está dividida em duas subseções: na subseção 2.1 são expostos os principais conceitos da economia criativa e a sua relação com o desenvolvimento econômico regional, e, na subseção 2.2 introduzem-se os conceitos de geografia econômica, complexidade e sua relação com os modelos baseados em agentes.

2.1 Criatividade, migração de mão de obra qualificada e desenvolvimento

De acordo com Florida (2005), um terço dos trabalhadores em países industrializados estão empregados no setor chamado criativo, nos setores de ciência e engenharia, pesquisa e desenvolvimento, indústrias baseadas em tecnologia, arte, música, cultura, estética, design, ou em áreas intensivas em conhecimento nos ramos de direito, finanças e seguridade. A maior ou menor concentração desses trabalhadores é considerada por ele um fator competitivo fundamental para uma localidade.

A terminologia “economia criativa” ganha importância na medida em que evidencia o papel de tais atividades no desenvolvimento regional através da trans-

formação de criatividade em novos negócios (FLORIDA, 2005, LANDRY, 2000; TRUEMAN e COOK, 2006; PRATT, 2009; UNCTAD, 2010). Segundo Favaretto e Catela (2013), a economia criativa envolve um conjunto de atividades baseadas em arte, cultura, e conhecimento, podendo contribuir na revitalização de indústrias tradicionais de manufaturas, entretenimento e serviços, alavancar novos sectores e de vitalizar pequenas cidades que consigam atrair tais atividades.

O conceito de criatividade utilizado pela UNCTAD baseia-se em uma noção ampla, que engloba não somente as atividades que envolvem componentes artísticos, mas também para “qualquer atividade econômica que produza produtos simbólicos intensamente dependentes de propriedade intelectual, visando o maior mercado possível” (UNCTAD, 2010). Tal definição abarca um vasto escopo de atividades, que vão das relacionadas a conhecimentos tradicionais e patrimônio cultural, até outras atividades de maior intensidade tecnológica.

O papel desempenhado no sistema econômico pelos setores componentes da economia criativa fica em evidência quando se alude aos grandes retornos obtidos na comercialização de bens culturais e/ou intensivos em criatividade, como filmes, livros, vídeos, e de bens associados a tecnologias de ponta como aplicativos para celulares. Além disso, destaca-se o valor simbólico agregado a produtos tradicionais, como carros, eletrodomésticos, e produtos personalizados que agregam valor diferenciado ao consumidor. “São produtos desenvolvidos por publicitários, designers, artistas gráficos, etc. e que possuem um ‘estilo’ ou um ‘conceito’ próprios, que os diferencia dos demais” (BARBALHO, 2014).

O principal objetivo de identificar e promover indústrias criativas e o seu ecossistema relaciona-se ao seu potencial de gerar aumento de emprego, produto e valor agregado regional. Doravante será aqui referido como o estoque de fatores que facilitam, potencializam e/ou estimulam a atividade criativa em uma dada localidade como **potencial criativo**.

A relação entre as características que estão associadas a um maior potencial para a atividade criativa e a sua conversão em desenvolvimento econômico para uma cidade não são lineares, e podem ocorrer por diferentes vias: pela acumulação da classe criativa atraída pelas amenidades urbanas, diversidade, e tolerância, ou ainda, de forma mais abstrata, pelo produto não linear da interação de múltiplos fatores como o capital humano, o ambiente urbano, o capital social e a estrutura produtiva. (FAVARETTO; CATELA, 2013). Faggian, Rajbhandari e Dotzel (2017) destacam a promoção da inovação e a criação de novos conhecimentos como as consequências positivas da migração de mão de obra altamente qualificada.

Florida (2005) aponta que diferentemente de outros fatores de produção como a terra e insumos, que são dados para uma determinada localidade, o capital humano, e mais especificamente a população criativa, está em constante fluxo. Isso levanta a questão dos fatores que permitem atrair e reter um conjunto dessa população de modo a obter uma vantagem potencial no desenvolvimento econômico para uma localidade.

Seguindo a Faggian, Rajbhandari e Dotzel (2017) a migração voluntária e seletiva de capital humano mais educado e com maiores habilidades depende em primeiro lugar de razões econômicas, especialmente das condições do mercado de trabalho na origem e destino dos trabalhadores. Fatores como políticas direcionadas à atração destes trabalhadores também aparecem como importantes. Corcoran e Faggian (2017) indicam que a decisão de migrar depende de fatores econômicos e sociais que atuam em direções opostas, chamados pelos autores de *push-pull*, entre os que se destacam as perspectivas de emprego, limitações e oportunidades econômicas, taxas de criminalidade e conflito.

Florida (2003, 2005, 2008) argumenta que localidades que possuem maior abertura para imigrantes, artistas, homossexuais e diversidade racial podem obter vantagem na competição tecnológica por intermédio da acumulação de um grupo de pessoas denominado “classe criativa”. Tal acumulação potencializa a atividade criativa via interação, podendo contribuir para o dinamismo econômico local. Localidades com essas características, além de permitirem o melhor florescimento do trabalho criativo da população residente, obteriam vantagem na competição via atração e retenção da população criativa.

Assim, a densidade e acumulação de pessoas nas cidades têm como principal vantagem favorecer um mix diversificado e concentrado de preferências, gostos, habilidades, conhecimentos e atividades, como postulado por Jacobs (1970). As diferenças permitem que os indivíduos vivam e trabalhem em contato com os outros e aprendam com os erros e sucessos por meio de diferentes experiências que o tecido urbano diverso oferece

2.2 Geografia econômica, complexidade e modelos computacionais com agentes

A estrutura espacial da economia, e aspectos como a existência de distritos industriais, grupos empresariais, cidades, aglomerações regionais, entre outros, são entendidos na geografia econômica evolutiva como propriedades emergentes de uma economia,

que podem ser fonte de externalidades e transbordamentos, que por sua vez condicionam e regulamentam a ação dos agentes (CHORINCAS, 2001). Desta forma, tem-se um fenômeno emergente criado pela interação descentralizada de diversos agentes que formam uma macroestrutura, que por sua vez, de maneira recíproca, reforça e condiciona a microestrutura. Nesse contexto, a diversidade pode assumir uma função central na criação, difusão e ramificação de ideias, desempenhando um papel na manutenção da vitalidade urbana.

Muitos trabalhos distintos se definem como pertencentes à abordagem evolutiva e, entre as características que permitem que este conjunto de ideias seja considerado de forma integrada, vale a pena mencionar a compreensão do sistema econômico como um processo que acontece no espaço e tempo (BOULDING, 1991), e a noção de existência de um processo de seleção subjacente à dinâmica econômica atuando como força impulsionadora da seleção do comportamento, em contraposição a um processo de maximização (DAWID, 2005).

Assim, a abordagem evolutiva é altamente influenciada por modelos da biologia e tenta entender os padrões de comportamento que emergem da interação de vários agentes que atuam estrategicamente com racionalidade limitada. De forma resumida, o processo evolutivo é caracterizado por três etapas: a geração de um ecossistema de variedades, um processo de seleção que determina quem obteve sucesso na competição, e a redução da diversidade através da difusão do vencedor, e adaptação dos perdedores.

Os autores Martin e Sunley (2007) argumentam que grande parte do entendimento da geografia econômica evolutiva reside no paradigma Nelson-Winter, que mistura conceitos e metáforas darwinianos como inovação, variedade, e seleção, com a teoria evolutiva da firma.

Ruiz, Miki e Gândara (2014) resumizam o quadro conceitual da geografia econômica evolutiva através de três pilares: a dependência da trajetória, o darwinismo generalizado e a teoria da complexidade. A dependência da trajetória pode ser entendida como um processo dinâmico baseado em fenômenos estocásticos com *feedbacks* positivos naturais, de modo que o desenrolar dos possíveis resultados depende da sequência particular com que os acontecimentos se desenrolam. O darwinismo generalizado expressa a ideia da evolução do ecossistema econômico dentro de uma analogia darwiniana na qual a concorrência entre os agentes, utilizando categorias como variedade, inovação e seleção moldam a dinâmica temporal do sistema. Já a teoria da complexidade consiste de um paradigma alternativo na interpretação do tecido geográfico da economia, que se ocupa do estudo de pro-

priedades de sistemas evolutivos e da interpretação do cenário econômico como um sistema adaptativo complexo, utilizando categorias como emergência, auto-organização e adaptação.

Segundo Spencer (2015), a abordagem da complexidade é desejável na modelagem da geografia econômica na medida em que combina a modelagem formal, e ao mesmo tempo reconhece a heterogeneidade, e a natureza disruptiva e potencialmente dependente da trajetória dos fenômenos. Pode-se entender um fenômeno como complexo pela observação de fenômenos emergentes derivados da interação descentralizada entre os indivíduos. Essa visão ampla da complexidade é conhecida como metacomplexidade (ROSSER, 2012).

Dawid (2005) argumenta que o uso de Modelos Baseados em Agentes (ABMs) em estudos pertencentes à abordagem econômica evolucionista fornece naturalmente explicações para diversos fatos estilizados para os quais modelos de equilíbrio tradicionais falham em explicar, tornando-os atraentes em relação às análises tradicionais de equilíbrio¹.

No que tange à intersecção da economia criativa com os ABMs, Spencer (2011) apresentou um modelo que simula a dinâmica social da economia criativa dentro de um quadro evolucionário, utilizando para tal premissas da psicologia social, teoria de redes e da geografia econômica. Nele os agentes realizam quatro tipos de ações: interação, aprendizado, atividade criativa e migração. Além disso, neste modelo existem dez categorias de conhecimento e dez localidades, e os agentes têm como seu máximo objetivo combinar duas categorias de conhecimento em uma nova ainda não existente. Os agentes são divididos igualmente entre as localidades, e posteriormente interagem com base nos critérios de: distância cognitiva, distância física, interações prévias com cada agente, conhecimento total, de modo que quanto maior o conhecimento total do agente, maior sua chance de interagir com os demais.

Ainda em Spencer (2011), o processo de interação condiciona o processo de aprendizado e a troca de conhecimento entre os agentes. Uma vez que um dado agente cruze um determinado nível de mais de duas categorias de conhecimento, este pode probabilisticamente criar uma nova categoria, que será a concatenação das duas anteriores. Além disso, os agentes podem optar por migrar de modo a aumentar as suas chances de aprendizado. Dentre as principais conclusões, os referidos autores

1 Dentre os fatos estilizados mencionados por Dawid (2005) como não devidamente explicados em modelos tradicionais estão: coexistência de plantas e empresas de diferentes tamanhos, heterogeneidade entre empresas em relação à tecnologia utilizada, e os lucros e produtividade obtidos, a falta de relação entre a rentabilidade de um setor industrial e suas taxas de entrada e saída de firmas, o surgimento de grandes inovações que aparenta ser estocástico e, ao mesmo tempo, aglomerado no tempo quando comparado a uma distribuição uniforme.

observam que agentes com acesso a uma variedade mais ampla de conhecimento possuem maior chance de combinar conhecimentos existentes em algo novo.

De modo a contribuir com essa discussão, sugere-se na próxima seção um modelo com agentes que visa reproduzir, utilizando hipóteses comportamentais de troca de conhecimentos e interação entre eles, assim como a diversidade política, étnica e sexual, os padrões empíricos de distribuições populacionais entre cidades.

3. Modelo proposto

Esta seção está organizada em duas partes: a primeira trata da estrutura de rede do modelo e a segunda aborda sequencialmente a geração dos insumos aleatórios como a distribuição inicial de conhecimento e as características associadas à diversidade; a troca de conhecimento entre os agentes; a migração dos agentes entre as localidades; e, por fim, os aspectos relacionados às hipóteses do modelo.

3.1 Conceitos fundamentais e implementação da estrutura de rede

A estrutura de distribuição de rede de um sistema pode ser avaliada seguindo dois critérios: primeiro, pela probabilidade de que um nó aleatório da rede conecte-se com um número k_{out} de outros nós da rede, ou conecte-se externamente; e, segundo, pela probabilidade de que um nó escolhido aleatoriamente receba a conexão de k outros elementos da rede, ou que se conecte internamente. Barabási (2014) define uma rede livre de escala como uma rede cuja distribuição segue uma lei de potência (BARABÁSI, 2014, p. 6). Destarte, pode-se expressar a probabilidade de k_{out} e k_{in} na forma

$$P_{k_{out}} \sim \kappa^{-\gamma_{out}}, \quad (1)$$

$$P_{k_{in}} \sim \kappa^{-\gamma_{in}}, \quad (2)$$

onde γ_{out} e γ_{in} são o expoente que define o grau de conexão externa e interna.

Tal estrutura de rede foi inspirada em Ormerod (2006), que modelou a difusão de informação entre agentes utilizando uma rede livre de escala. A hipótese subjacente em seu trabalho é de que no processo de difusão de informação alguns poucos agentes com muita influência podem exercer um impacto que condiciona substancialmente o estado final do modelo. Essa mesma ideia foi aqui utilizada na

modelagem da difusão do conhecimento, em que alguns poucos conhecedores têm grande visibilidade e são difusores de conhecimento, enquanto que a maioria dos agentes são mais ou menos anônimos, e seu impacto na difusão de conhecimento é baixo.

Iniciou-se o modelo com a geração de uma rede livre de escala implementando o algoritmo Barabási-Albert (BA). Para ilustrar as dimensões de uma rede dessa natureza, é comum que nela aproximadamente 85% dos agentes possuam conexão com menos de 2% do total de membros da rede, enquanto poucos deles possuem conexão com cifras tão expressivas quanto 20% do total de agentes.

O algoritmo BA por sua vez utiliza a ideia de *Preferential Attachment*, que implica que novos nós têm maior chance de se conectarem a nós com mais conexões, em oposição a se conectarem com outros nós aleatoriamente. Inicia-se a rede com m_0 nós conectados aleatoriamente, em que cada nó deve possuir ao menos uma conexão, e a cada rodada da simulação da rede insere-se um novo nó que se conecta com um número $m \leq m_0$ de nós existentes com probabilidade proporcional ao número de conexões preexistentes de cada nó. A probabilidade π de que um novo nó se conecte ao nó i , que recebe conexão de outros nós, é definida como:

$$\Pi(\kappa_i) = \frac{\kappa_i}{\sum \kappa_j}, \quad (3)$$

onde κ_i é o grau do nó i , e o somatório é feito sobre todos os nós preexistentes j , de modo que quanto maior o número de conexões associadas a um nó, maior a sua chance de receber conexão dos nós entrantes. Após ρ rodadas do algoritmo, o modelo Barabási-Albert gera uma rede com $N = \rho + m_0$ nós.

3.2 Construção do modelo

Após a geração da rede, foi realizada uma matriz de distribuição de conhecimento em que cada agente i recebe um número $x_{ik} \in R_+$ referente ao seu conhecimento em uma das $k = 10$ categorias de conhecimento. O número $k = 10$ foi escolhido seguindo o trabalho de Spencer (2011). Cada elemento x_{ik} é uma variável aleatória que segue uma distribuição log-normal com média $\mu = 0$ e desvio padrão $\sigma = 1$. A distribuição log-normal foi utilizada para expressar o fato de que não há conhecimento negativo, e para modelar a maior variabilidade que existe na realidade em relação à distribuição do conhecimento especializado, em que a maior parte das pessoas irá possuir nenhum ou pouco conhecimento em uma área qualquer do

saber, enquanto que algumas poucas conseguem concentrar muito dele, podendo ser detentoras de notório saber.

Os indivíduos são distribuídos igualmente entre cinco localidades. A estrutura espacial de vizinhança se dá em um espaço unidimensional, em que a distância entre dois locais L , com $\{L \in Z \vee 0 \leq 5\}$ é a distância euclidiana entre esses pontos. O número de localidades $L = 5$ foi escolhido após o teste de sensibilidade do parâmetro L em relação ao coeficiente alfa que descreve a lei de potência que associa o número de habitantes por localidade com a respectiva posição no *ranking* das localidades mais populosas. A baixa sensibilidade de alfa em relação ao parâmetro L favorece o uso do menor número de localidades por apresentar uma versão reduzida do fenômeno, facilitando o processo da análise. No Quadro 3, a caráter de exemplo, estão demonstrados também os valores de alfa quando o parâmetro L assume os valores de 10 e 15. A estrutura geométrica das localidades pode ser visualizada na Figura 1.

FIGURA 1
Estrutura espacial em linha



Fonte: Elaboração própria

Posteriormente, foi simulada uma matriz com três variáveis de diversidade, representando genericamente a divisão racial, sexual e política que permanecem constantes ao longo do tempo para cada indivíduo. A simulação foi feita utilizando uma distribuição normal padronizada. A premissa é de que existem características mais frequentes em tais distribuições, tais que, assim como na distribuição normal, concentram grande parte da frequência em torno da média, e se reduzem exponencialmente conforme se aproximam das caudas. Os indivíduos que estão entre -1 e 1 desvios padrão da média recebem o menor indicador de diversidade para uma dada característica, recebendo o valor 1. Valores absolutos entre 1 e 2 desvios padrão da média recebem o indicador no valor de 3, enquanto os demais, que em uma distribuição normal concentram aproximadamente 5% da população, recebem o valor de 5. Uma vez que cada uma das três variáveis pode assumir três valores distintos, cada agente tem 27 combinações possíveis de estados iniciais associadas à diversidade. No indicador de diversidade (ID) de uma localidade são somados os índices de diversidade de todos os residentes, incluindo as três variáveis.

Posteriormente, ocorrem três processos na ordem em que são apresentados, nas subseções seguintes.

3.2.1 A troca de conhecimento entre os agentes

Os agentes podem ou não trocar conhecimento entre si. Essa parte do modelo ocorre em duas etapas: primeiro, acontece um evento probabilístico para decidir se dois agentes quaisquer irão ou não executar uma troca unilateral de conhecimento. Posteriormente, verifica-se a troca propriamente dita. Tais processos – detalhados nas equações 4 e 5 – acontecem para todos os agentes em todas as rodadas.

A probabilidade de troca de conhecimento é determinada pelo parâmetro p_1 , e pela distância geográfica entre dois agentes. A chance de troca é reduzida quanto maior a distância geográfica, de modo que essa chance é máxima para indivíduos dentro de uma mesma localidade – onde a distância é mínima. A função que define a probabilidade de ocorrer o evento de uma troca unilateral de conhecimento onde o agente i recebe uma fração do conhecimento do agente j é

$$P_{ij} = 1 - \left(p_1 + \frac{|N_i - N_j|}{100} \right), \quad (4)$$

onde $(1 - p_1)$ é a chance de troca de conhecimento entre os agentes dentro de uma mesma localidade, sendo definido como p_1 . Por sua vez, N_i é a localização do agente i e N_j a localização do agente j . Uma vez que a troca acontece de forma unilateral, o novo estado do conhecimento no período $t + 1$ é

$$\{p_1 \in R | 0 \leq p_1 \leq 0,96\}, \quad (5)$$

onde N_i é o percentual de conhecimentos trocados, com $\{p_2 \in R \vee 0 \leq p_2 \leq 1\}$, e K_i é um vetor de números reais estritamente positivos de dimensão $k \times 1$, com $k = 10$, e cada elemento do vetor representa o conhecimento do agente i em cada uma das k áreas do conhecimento.

3.2.2 A Migração dos agentes

Na segunda etapa do modelo, os agentes têm uma probabilidade de mudarem de localidade geográfica. Tal processo dá-se em duas partes: primeiro, o agente “decide” se irá ou não mudar, e, em caso positivo, “decide” para onde mudar.

O gatilho para a mudança ocorre em função dos parâmetros p_1 e ϕ – apresentado na equação 7 – associados à probabilidade de ativação do evento de migra-

ção, e do parâmetro de quantidade total de conhecimento para um dado agente. Agentes com maior nível geral de conhecimento têm uma maior probabilidade de migrarem, uma vez que se entende que haveria mais demanda pelas suas habilidades (SPENCER, 2011).

Por sua vez, a escolha de para onde mudar depende de três fatores: da distância psicológica do indivíduo para com os demais residentes em cada localidade, do ID e da população de cada sítio.

A distância psicológica é inspirada em Spencer (2011), que é inserida na função de migração de forma que cada agente calcula a diferença de seu perfil psicológico em relação a cada um dos demais agentes, e tem suas chances de ir para a localidade onde residem os agentes com maior semelhança psicológica. A migração baseada na semelhança entre perfis de conhecimento também pode ser entendida como um maior potencial de oportunidades profissionais, uma vez que agentes com expertises semelhantes tendem a agregar-se em associações profissionais.

O tamanho da população é considerado na função de migração em conjunto com o indicador de diversidade. O tamanho da população expressa que os indivíduos tendem a preferir localidades com um maior número de habitantes, apontando as características psicológicas da classe criativa expostas em Florida (2003), e a ideia de que localidades mais densamente habitadas tendem a concentrar um maior número de amenidades urbanas, atividades culturais, vida noturna, entre outros.

O indicador de diversidade por sua vez visa modelar a ideia de que locais que concentram maior diversidade portariam uma maior tolerância para com ela, sendo a tolerância um fator atrator da classe criativa (FLORIDA, 2012).

A população total e o ID são inseridos multiplicativamente na equação 9, que descreve a migração, sugerindo uma interação sinérgica entre ambos.

A afinidade psicológica entre o agente i e o agente j , I_{ij} , é determinada pela distância euclidiana entre ambos,

$$I_{ij} = I_{ji} = \sqrt{K_i - K_j} \quad (6)$$

sendo que quanto menor o valor numérico de I_{ij} , maior o nível de afinidade entre dois agentes.

Seja ϕ_i a soma de todos os elementos do vetor K para o agente i , que pode ser entendida como o produto interno de K_i com um vetor de mesma dimensão contendo apenas o número 1, que aqui será chamado de $\hat{a} = [1, \dots, 1]$. Logo,

$$\Phi_i = K_i, \hat{a} > K_{i,1} \times 1 + K_{i,2} \times 1 + \dots + K_{i,10} \times 1 \quad (7)$$

Logo, foi definida a probabilidade de um agente i optar pela migração como

$$P_i = \begin{cases} p_1 + \frac{\Phi_i}{100} & \text{para } 0 \leq \left(p_1 + \frac{\Phi_i}{100}\right) \leq 1 \\ 1 & \text{para } \left(p_1 + \frac{\Phi_i}{100}\right) > 1, \end{cases} \quad (8)$$

onde p_1 é a probabilidade de ativação da Migração.

Por fim, a probabilidade de cada agente migrar para cada uma das localizações $L = \{1,2,3,4,5\}$ depende de três fatores: (1) da ordenação suas preferências de moradia em função de sua afinidade psicológica com os demais agentes; (2) da população de cada localidade, chamada de pop_L ; e (3) do indicador de diversidade de cada localidade.

A determinação de preferência de moradia é feita associando a lista ordenada de proximidade psicológica de cada agente para com os demais. Uma vez que o conjunto de agentes possui uma relação biunívoca com o grupo de localizações L , utiliza-se a lista ordenada de proximidade psicológica de cada agente para especificar a sua preferência de moradias. A tese é de que para um dado agente i que tem a maior afinidade de sua lista com o agente j , que reside em L_j , implica que o agente i tem sua maior preferência de migração para L_j .

Será chamada de L_{ji} a j -ésima localização preferida pelo agente i , sendo L_{1i} a localização de maior preferência, e assim sucessivamente. A função de probabilidade de migração para uma localização qualquer L , para o agente i é dada por:

$$P_{i,n} = \frac{c_L + p_4 \times pop_L \times \left(1 + \frac{ID}{100}\right) - p_6 \times pop_L^2}{\sum_{i=1}^L c_L + \sum_{i=1}^n p_4 \times \left(1 + \frac{ID}{100}\right) \times pop_L - p_6 \times pop_L^2} \quad (9)$$

onde c assume os valores de 5 para L_{1i} , 3 para L_{2i} , 2 para L_{3i} , e 1 para os demais valores de L . O coeficiente p_6 expressa a velocidade com que pop_L perde influência na função de migração na medida que as localidades tornam-se mais populosas, e pode ser entendida pela ideia de que grandes conglomerados urbanos tendem a apresentar problemas característicos relacionados à segurança pública e mobilidade urbana, e destarte perdem atratividade migratória. O parâmetro p_6 será utilizado com dois valores: o da calibração, e zero, de modo a testar as diferenças do comportamento do sistema quando os agentes penalizam ou não o excesso de população.

3.2.3 Demais aspectos do modelo

Indivíduos podem criar novas conexões, havendo uma pequena chance p_3 de criar-se uma conexão entre dois indivíduos aleatórios em duas diferentes localidades.

Por fim, é calculado o potencial criativo total do sistema e o de cada localidade individualmente, através da contagem simples do número de agentes com um nível de conhecimento superior a um limiar predeterminado em mais de uma área do conhecimento. Também é computada a população por localidade.

O processo criativo foi entendido através do conceito de criatividade utilizado por Spencer (2011), onde a inovação seria derivada por meio de novas combinações do conhecimento previamente existente. Tal conceito implica que um agente com maior variedade de conhecimento tem sua chance de novas combinações aumentada, e logo, uma maior chance de criação de algo novo. Essa abordagem enfatiza o papel do aprendizado e das redes de relacionamento no processo criativo, e do relacionamento com pessoas de *backgrounds* distintos.

O potencial criativo de uma localidade é então definido como o número de indivíduos que possuem um nível de expertise acima de um limiar predeterminado em mais de uma área do conhecimento. O limiar foi escolhido de modo que na distribuição inicial de conhecimento log-normal $\sim (0,1)$, apenas 10% dos agentes tivessem nível de conhecimento igual ou superior ao limiar em qualquer área.

Já a noção de distância psicológica utilizada na estimação da probabilidade de migração para cada localidade foi baseada no conceito de homofilia exposto em Spencer (2011), que sugere que pessoas tendem a interagir com indivíduos similares a elas. A justificativa para tal hipótese deriva do princípio do mínimo esforço expresso no trabalho de Zipf (1949), que propõe que a probabilidade de interação é maior quanto menor o impedimento e vice-versa. O impedimento, por sua vez, é descrito pela distância geográfica e cognitiva. O conceito de homofilia também pode ser interpretado como a ideia de que a semelhança nos perfis de conhecimento caracterizaria maiores oportunidades de emprego.

4. Resultados

A calibração dos parâmetros foi feita de modo a minimizar uma função de erro da distribuição populacional simulada, em comparação à série empírica da lista ordenada da população das maiores cidades americanas segundo o censo de 2010.²

² O censo completo pode ser obtido na página oficial <https://www.census.gov/2010census/data>. As cidades em questão são Nova Iorque, Los Angeles, Chicago, Houston e Filadélfia.

O problema de minimização é:

$$\text{Min} \sum_{i=0}^5 |x_i - x_i^*|, \quad (10)$$

na qual x_i é a proporção da população total dada para o sítio localizado na posição i de uma lista ordenada pela população, e x_i^* é o valor equivalente da série observada da população das cidades americanas. A distribuição empírica de referência segue aproximadamente uma Lei de Zipf.³

O algoritmo utilizado na parametrização foi realizado em duas etapas: primeiro, é feita a mensuração da função de erro vista acima a partir da execução do modelo utilizando milhares de combinações aleatórias dos seis parâmetros variáveis do modelo (Quadro 1), de modo a encontrar regiões passíveis de conter um mínimo local.

QUADRO 1
Parâmetros calibrados do modelo

Variável	Descrição	Valor
N	Número de agentes	100
T	Número de iterações do modelo	10
K	Categorias conhecimento	10
L	Número de sítios	5
p_e	Chance de troca de conhecimento entre agentes conectados	0.05
p_0	Percentual de conhecimento trocado na interação	0.04
p_1	Probabilidade de ativação da migração	0.06
p_2	Chance de agente fazer conexão aleatória	0.02
p_3	Chance de agente fazer conexão na sua localidade	0.06
p_4	Importância da população local na escolha de migração	0.02
p_5	Importância da diversidade na escolha de migração	0.43
p_6	Penalização para sítios populosos	0.10

Fonte: Elaboração própria

A inserção de um mecanismo aleatório de geração de pontos iniciais foi utilizada em consideração a dificuldade de parametrização de modelos baseados em agentes dada a quantidade de insumos aleatórios do modelo, que dificulta a utilização de métodos de otimização global. A segunda etapa consiste na execução de um algoritmo de minimização local chamado simplex baseado no artigo de Nelder

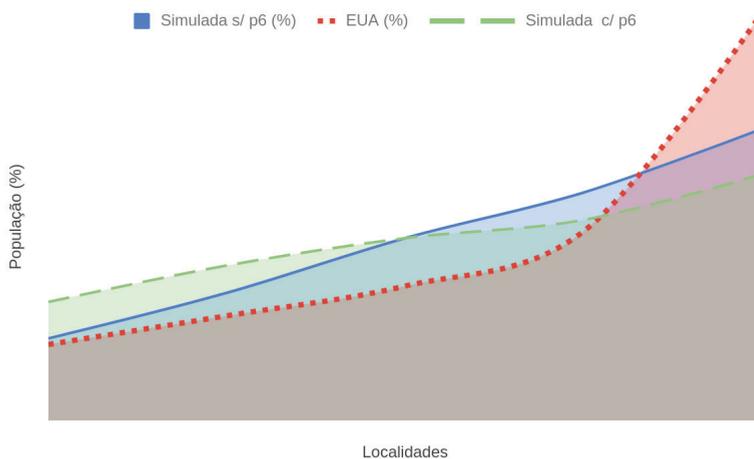
3 A lei de Zipf pode ser entendida também como uma lei de potência de forma $P_n \sim \frac{1}{n^a}$, com $a \cong 1$.

e Mead (1965) e que pode ser usado para otimizar funções não diferenciáveis. Os parâmetros estimados podem ser observados no Quadro 1.

Dentre os parâmetros do Quadro 1, os parâmetros p_v , com $v = \{1,2,3,4,5,6\}$ são estimados no processo de calibração, enquanto os parâmetros N, T, K e L são mantidos constantes.

Para a observação distribuição de agentes entre localidades e a estabilidade desse resultado, os testes foram separados em dois grupos: o grupo que penaliza os grandes centros urbanos através do parâmetro p_6 calibrado anteriormente, e outro grupo que utiliza $p_6 = 0$. Essa divisão visa identificar de pronto se a hipótese de que centros urbanos a partir de um certo tamanho passam a ter a sua atratividade comprometida dentro do contexto desse modelo, tendo como critério a proximidade da distribuição empírica.

FIGURA 2
Distribuição simulada e empírica



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 2 são apresentadas as simulações realizadas para testar o ajuste da distribuição populacional estimada com a referência empírica. Utilizou-se o teste Kolmogorov-Smirnov para ambos os grupos, o que aplica e o que não aplica o parâmetro p_6 . A hipótese nula é de que ambas as amostras são originadas do mesmo conjunto de dados empíricos. Ao nível de confiança de 95%, a hipótese nula não pode ser rejeitada em ambos os casos, e assume-se que as distribuições simuladas

têm a mesma origem da distribuição empírica. Observa-se que quando não temos penalização para grandes cidades, a distribuição fica mais próxima da lei de Zipf, enquanto que com a penalização, os agentes tendem a se distribuir de forma mais homogênea entre os cinco sítios.

Os parâmetros estimados do teste Kolmogorov-Smirnov para as distribuições populacionais com $p_6 = 0$ e $p_6 = -0.1$ podem ser vistos no Quadro 2, onde D representa a estatística de teste. Observa-se que com o p-valor próximo de um em ambos os casos, pode-se confortavelmente manter a hipótese nula de que ambas as amostras são derivadas da mesma fonte geradora da distribuição seguindo a Lei de Zipf.

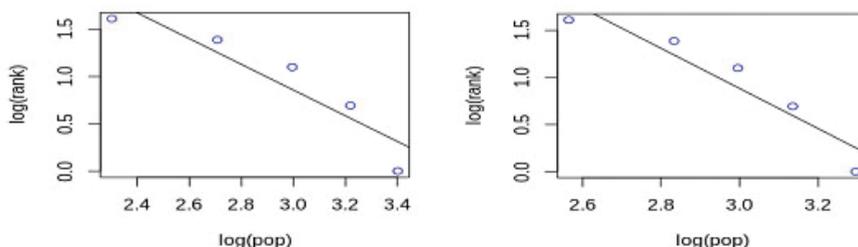
QUADRO 2
Estatísticas do teste Kolmogorov-Smirnov

	$p_6=0$	$p_6=-0,1$
D	0,40	0,20
p-valor	0,87	0,99

Fonte: Elaboração própria

A existência de leis de potência nas séries simuladas e a diferença de seu expoente para o da Lei de Zipf, podem ser verificadas utilizando o gráfico no formato log-log da fração da população por localidade com a sua posição no ranking (Figura 3).

FIGURA 3
Lei de Potência com $p_6 = 0$ e $p_6 = -0.1$



Fonte: Elaboração própria

O modelo de regressão estimado em ambos os casos é estatisticamente significativo, sugerindo que a relação entre o *ranking* e a população segue uma lei de

potência. Assume-se aqui a forma funcional não-linear no formato $r = cn^{-\alpha}$, e estima-se uma regressão log-log entre ambas as variáveis. Seja r a posição no *ranking* e α o expoente que caracteriza a lei de potência, se se tomar logaritmo natural em ambos os lados da expressão tem-se $\ln(r) = -\alpha \ln(n) + \ln(c)$, e no modelo de regressão adiciona-se o termo de erro, chegando na especificação funcional de:

$$\ln(r) = -\alpha \ln(n) + \ln(c) + \epsilon. \quad (11)$$

Os parâmetros estimados podem ser vistos no Quadro 3. Pode-se observar que o coeficiente α da regressão com o parâmetro p_6 diferente de zero é $\alpha = -2.13$, descrevendo uma distribuição populacional muito homogênea quando comparada com o $\alpha = 1$ da lei de Zipf. Já sem a penalização para os grandes centros urbanos, tem-se que, embora descreva também uma distribuição mais homogênea do que a descrita pela Lei de Zipf, assemelha-se aos resultados empíricos obtidos em Rosen e Resnick (1980) para a distribuição entre cidades na Dinamarca ($\alpha = 1,37$), França ($\alpha = 1,32$), Japão ($\alpha = 1,28$), Irlanda ($\alpha = 1,26$), Noruega ($\alpha = 1,26$), Filipinas ($\alpha = 1,25$), Suécia ($\alpha = 1,41$) e Rússia ($\alpha = 1,28$).

QUADRO 3
Parâmetros das regressões

	$p_6 = -0,1$ e $L = 5$	$p_6 = 0$ e $L = 5$	$p_6 = 0$ e $L = 5$	$p_6 = 0$ e $L = 15$
C	7,27	4,93	0	0,70
A	-2,13	-1,35	-1,28	-1,35
R ²	0,89	0,86	-1	0,92
Teste F	24,17	18,41	133,10	137,10
P-valor	0,01	0,02	-0	-0

Fonte: Elaboração própria

Por sua vez Jiang *et al.* (2015) observam que, para um dado período, países como Azerbaijão, Bangladesh, Belarus, Botsuana, Costa Rica, Cuba, Equador, Grécia, Hungria, Irã, Eslováquia, Suíça, Turquia, Ucrânia, entre outros, apresentaram distribuição populacional com coeficiente $\alpha = -1,3$. Giesen e Suedekun (2011) estimaram o expoente de Pareto para os estados alemães, e um valor próximo ao trabalho aqui proposto foi encontrado também no estado da Renânia do Norte-Vestefália ($\alpha = -1,36$).

No que tange à consistência temporal do modelo, o critério de estabilidade utilizado – como pode ser visto em Lee *et al.* (2015) – considera a convergência do limite dado pela equação (12),

$$\frac{\lim_{\vartheta \rightarrow \infty} \sigma_{\vartheta}}{\mu_{\vartheta}} = 0, \tag{12}$$

na qual μ e σ representam, respectivamente, a média e variância do resultado da distribuição populacional média de ϑ simulações do modelo. Um critério análogo foi usado para constatar a estabilidade de alfa em relação ao parâmetro L.

Os Gráficos 4 e 5 mostram a fração da população por localidade considerando-se a média de 50 experimentos, para $p_6 = -0,1$ (Figura 4) e para $p_6 = 0$ (Figura 5). No eixo horizontal do gráfico tem-se o número de eventos dos quais foi extraída a média e, no eixo vertical, a fração da população total residente em cada sítio.

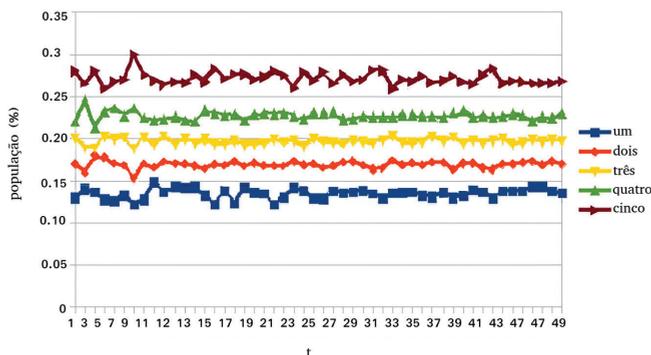
O Quadro 4 registra a variância das séries das Figuras 4 e 5, sugerindo que os resultados da distribuição populacional são consistentes tanto em rodadas isoladas quanto na média.

QUADRO 4
Variância por localidade para $\alpha = \{1, 2, \dots, 50\}$ cômputos do modelo

	Sítio nº Um	Sítio nº Dois	Sítio nº Três	Sítio nº Quatro	Sítio nº Cinco
$p_6 = -0.1$	3,50E-05	1,97E-05	1,30E-05	2,53E-05	5,54E-05
$p_6 = 0$	6,72E-05	6,18E-05	8,82E-05	3,53E-05	1,07E-04

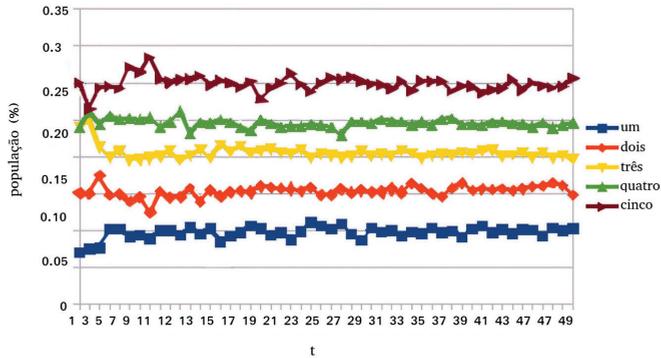
Fonte: Elaboração própria

FIGURA 4
Estabilidade para $p_6 = -0,1$



Fonte: Elaboração própria

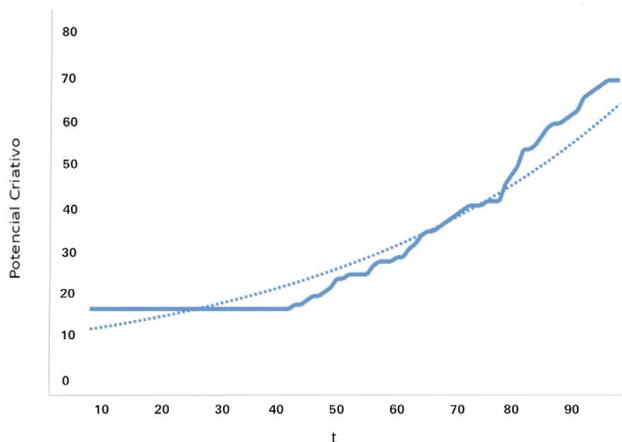
FIGURA 5
Estabilidade para $p_6 = 0$



Fonte: Elaboração própria

Uma vez que a versão do modelo com $p_6 = 0$ apresenta uma maior proximidade com a lei de Zipf, somente essa será aqui utilizada para as próximas análises. A especificação do modelo faz com que a progressão do conhecimento seja estritamente crescente, uma vez que não foi adicionado nenhum mecanismo pelo qual o conhecimento se perde. A natureza das trocas de conhecimento através das sucessivas rodadas faz com que o potencial criativo como definido apresente características semelhantes a um sistema termodinâmico. Existe um longo período de latência no qual os agentes interagem e o potencial criativo se mantém idêntico, até que se chega a um ponto de saturação onde a inércia é rompida e a variável assume um comportamento crescente exponencial, como pode ser visto na Figura 6.

FIGURA 6
Evolução do potencial criativo com $n=100$ e $t = 100$.

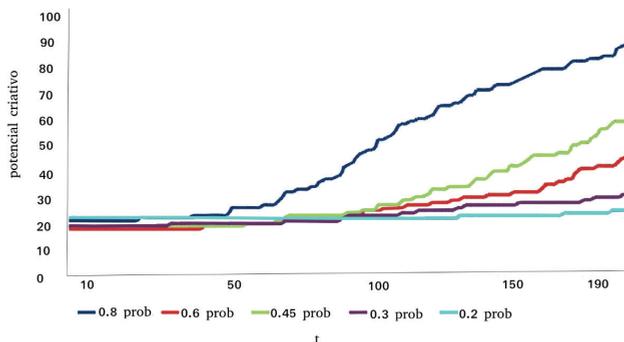


Fonte: Elaboração própria

As velocidades do tempo de latência e de crescimento dependem majoritariamente de duas variáveis: da taxa de conhecimento trocada em cada rodada e da probabilidade de um agente interagir em uma determinada rodada com cada membro da sua rede. A Figura 7 mostra algumas simulações que visam permitir uma melhor visualização do impacto de cada um desses parâmetros na velocidade de convergência. Inicialmente, o nível de troca de conhecimento por interação foi fixado em 1% e, em seguida, foi executada a simulação com probabilidades de interação distintas.

Observa-se, na simulação ao longo de 200 rodadas de tempo, que a probabilidade de interação entre dois agentes que possuem uma conexão, e consequentemente, a frequência com que trocam conhecimento, afeta dramaticamente a velocidade de progressão do potencial criativo agregado do sistema. Nota-se também que, para uma probabilidade de interação de 80%, a função assume uma forma exponencial durante a fase de crescimento, e a curva suaviza-se e converge para um ponto de equilíbrio onde o potencial criativo está próximo do máximo. Isso reforça a característica não linear de um sistema de aprendizado por interação, e como os pequenos ganhos podem se acumular ao longo do tempo.

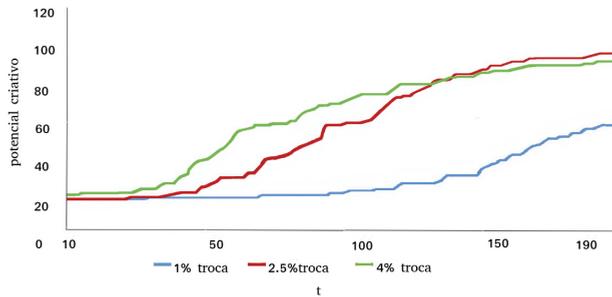
FIGURA 7
Evolução do potencial com taxa de troca de conhecimento fixa em 1% com probabilidade de interação variante



Fonte: Elaboração própria

Neste ponto, fixa-se a probabilidade de interação entre dois agentes conectados em 50%, e deixa-se a taxa de troca de conhecimento variar para 1%, 2,5%, e 4%, o que pode ser apreciado na Figura 8.

FIGURA 8
Potencial criativo para probabilidade de interação fixa em 50%



Fonte: Elaboração própria

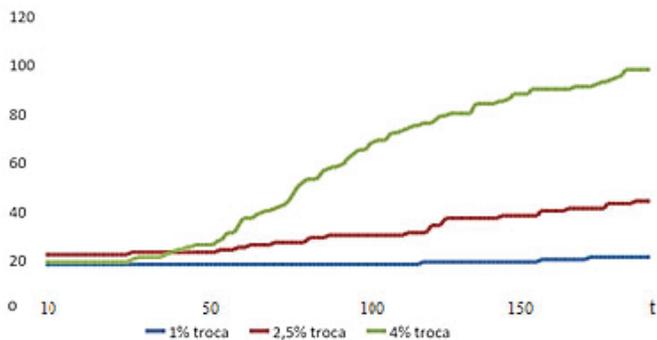
A segunda análise sugere que a quantidade de conhecimento compartilhado por interação exerce forte aceleração na convergência, sendo que nas taxas de 2,5% e 4% o potencial criativo atingiu mais de 80% do valor máximo após aproximadamente 120 rodadas do modelo, enquanto chegou a apenas 35% do potencial máximo no mesmo período de tempo com taxa de 1% de troca.

A probabilidade de interação foi mudada para 20%, e foi testado novamente o potencial de três diferentes taxas de troca. Tal experimento foi feito de modo a analisar a sinergia potencial de interação entre ambos os parâmetros. Notou-se uma forte capacidade de a taxa de troca de conhecimento influenciar a velocidade do sistema, mesmo para uma baixa taxa de interação. Observa-se que uma variação de 1,5% na taxa de troca de conhecimento pode gerar grande impacto no sistema, e ela aparenta agir de forma exponencial. Ou seja, mudanças na taxa têm um impacto superior no sistema dependendo de sua posição cardinal. A mesma variação de 1,5% tem um impacto muito maior quando se varia de 2,5% para 4%, do que na variação de 1% para 2,5%, como pode ser observado na Figura 9. Tal relação pode sugerir que a qualidade das interações possui um impacto superior na evolução do sistema do que um aumento na quantidade de interações.

A mudança da rede, em função da estrutura do modelo, progride na direção de um número crescente de conexões, uma vez que a chance de os agentes formarem uma nova conexão é superior à de romperem uma conexão existente. O adensamento da rede é expressivo ao longo do tempo, e o padrão pode ser observado na Figura 10. Desta forma, a densidade promove inúmeras trocas informais e espontâneas, no nível interpessoal, relacionadas à diversidade e promove o que Jacobs (1970) chama conhecimento local, isto é, a percepção dos indivíduos sobre seu ambiente local. A

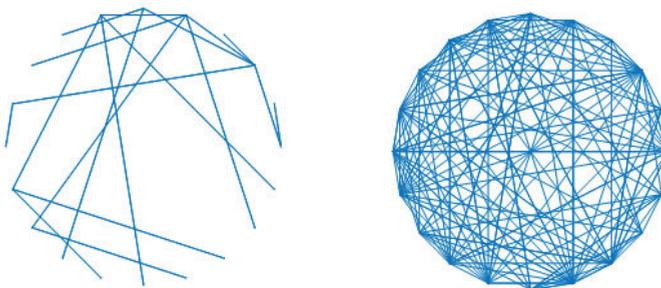
autora observa que nenhuma expertise isolada pode substituir este conhecimento contextual que é crucial para o funcionamento de sistemas urbanos complexos.

FIGURA 9
Potencial criativo para probabilidade de interação fixa em 20%



Fonte: Elaboração própria

FIGURA 10
Estado inicial e final da rede com n=20



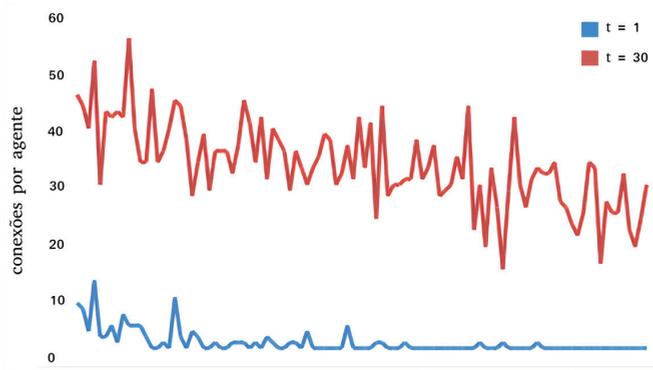
Fonte: Elaboração própria

Pode-se visualizar a progressão do número de conexões por agente na Figura 11. Enquanto a linha azul contendo o número de conexões inicial por agente possui uma forma que se assemelha à da distribuição log-normal mostrada anteriormente, o número final de conexões aparente distribui-se de modo simétrico em torno de uma média.

A transição de uma rede livre de escala para uma rede aleatória pode ser vista também através das estatísticas descritivas, apresentadas no Quadro 5, onde, no estado inicial da rede, o agente com o maior número de conexões encontrava-se a mais de seis desvios padrão acima da média, enquanto que, no estado final, os agentes

com o maior e menor número de conexões estão, respectivamente, a 3 e 2 desvios padrão de distância acima da média. Ou seja, a distribuição continua assimétrica à direita, todavia assemelhando-se mais a uma distribuição normal.

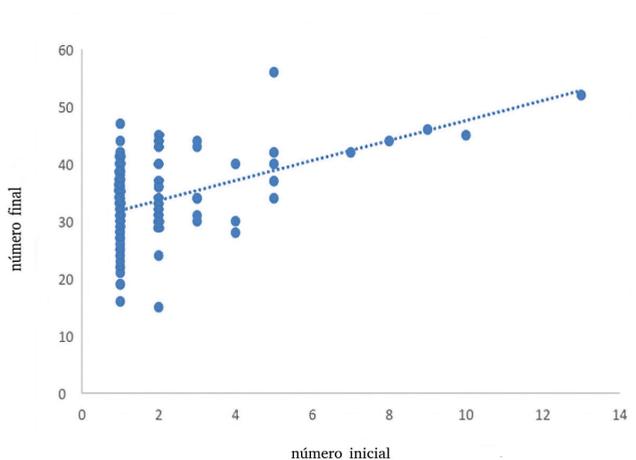
FIGURA 11
Número de conexões por agente em t = 1 e t=30 para n=100



Fonte: Elaboração própria

Todavia, constata-se que o número inicial de conexões ainda possui um efeito expressivo no número final, o que indica que agentes com um número de conexões acima da média tendem a manter-se assim, como pode ser visto na Figura 12.

FIGURA 12
Regressão do número inicial versus final de conexões por agente



Fonte: Elaboração própria

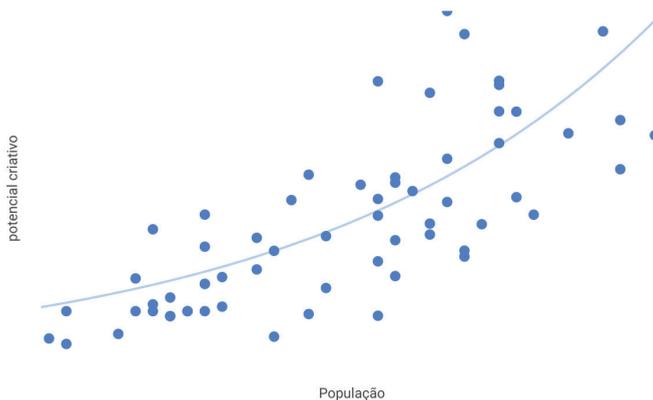
QUADRO 5
Estatísticas descritivas da distribuição das conexões por agente

	Máximo	Mínimo	Média	Desvio Padrão
Inicial	13	1	1,99	2,06
Final	56	15	33,6	7,47

Fonte: Elaboração própria

Por fim, é analisada a divisão do potencial criativo entre as localidades. O potencial criativo tem uma associação positiva e exponencial com o tamanho da população de uma localidade. Tal relação não linear sugere uma vantagem nos grandes centros urbanos em relação ao potencial para inovar. Pode-se observar a relação entre o potencial criativo e população através da figura gerada com o resultado de diversas simulações na Figura 13.

FIGURA 13
Relação entre tamanho da localidade e potencial criativo

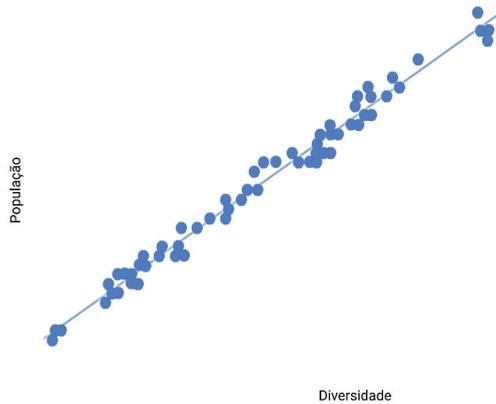


Fonte: Elaboração própria

O ganho de potencial criativo per capita nas grandes cidades fortalece a ideia de que essas tendem a ser “caldeirões de criatividade” (FLORIDA, 2005), agindo como veículos na mobilização, concentração e canalização da energia criativa.

No tocante à diversidade, a relação entre a população de uma localidade e o indicador de diversidade é crescente, todavia linear, não captando um ganho emergente de diversidade nos centros urbanos. A relação pode ser visualizada na Figura 14.

FIGURA 14
Relação entre população e diversidade



Fonte: Elaboração própria

Destarte, tem-se um maior nível absoluto de diversidade nos grandes centros em relação aos menores, todavia constante em termos relativos. Seguindo a Jacobs (1970), conclui-se que a densidade não é um fim, mas uma condição – crucial – para a diversidade urbana que se constitui como a fonte da vitalidade das cidades: a riqueza de diferenças e possibilidades, muitas delas únicas e imprevisíveis, são sumamente valiosas para a vida dos centros urbanos.

5. Considerações finais

Neste trabalho, foi feita uma abordagem de simulação da chamada classe criativa. Considera-se aqui o potencial para inovar como uma consequência direta da relativa expertise em mais de uma área do saber, uma vez que a inovação é entendida nesta pesquisa como a combinação de conhecimentos previamente existentes.

Alguns eventos foram observados como resultado da simulação e merecem ser salientados. Em primeiro lugar, os padrões de migração observados geram padrões de aglomeração urbanos menos concentrados do que os previstos pela Lei de Zipf. O padrão de aglomeração segue consistentemente uma lei de potência com $\alpha \approx 1.35$. Em segundo lugar, a relação entre potencial criativo e tamanho da população pode ser modelada com uma função exponencial, sugerindo uma vantagem no potencial criativo para as cidades mais populosas. Em terceiro lugar, observou-se que as cidades maiores concentram um maior índice de diversidade, todavia o

indicador é proporcional à sua população. Por fim, constatou-se que a quantidade de conhecimento trocado entre os agentes em cada interação tem um efeito maior no aumento do potencial criativo geral do sistema do que o aumento do volume de interações entre os agentes.

Concluindo, o modelo aqui proposto permite conjecturar que os fluxos migratórios relacionados à busca pela diversidade, amenidades culturais e infraestrutura cultural, associados à chamada classe criativa, pode exercer um papel no desenho da distribuição populacional entre as cidades. Todavia, tais fluxos migratórios aparentam não explicar a totalidade do fenômeno uma vez que a concentração urbana observada, – embora compatível com diversos países europeus e asiáticos – é menor do que a observada em diversas distribuições empíricas que seguem uma lei de Zipf.

Para finalizar, esta pesquisa serve também como um desafio para ampliar estudos futuros. Destacam-se três possíveis extensões. Em primeiro lugar, inserir aspectos espaciais explicitamente, que mostrem que a distância tem um impacto sobre os resultados, operando através de serviços públicos de transporte inadequados, infraestrutura pobre, entre outros fatores. Em segundo lugar, se considera incluir aspectos econômicos como atratores da classe criativa, como por exemplo, diferentes níveis de renda ou aglomerações produtivas nos diferentes locais. Por último, pode se considerar uma definição de criatividade diferente, seguindo a Lubart e Setemberg (2002), onde são as ideias (em lugar de níveis de conhecimento) que podem ser originais (noveis) ou adaptativas (utilitárias), que determinam as interações entre agentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UFSC pelo seu inestimável suporte à pesquisa.

Referências

ARSHAD, S.; HU, S.; ASHRAF, B.N. Zipf's law and city size distribution: A survey of the literature and future research agenda. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 492, p. 75-92, 2018.

AUERBACH, F. Das gesetz der bevölkerungskonzentration. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 59, p. 74-76, 1913.

AXTELL, R; FLORIDA, R. Emergent Cities: Micro-foundations of Zipf's Law. *Computing in Economics and Finance*, n. 154, 2006.

- BARABÁSI, A. *Network science: graph theory*. 2014. Available at: <http://www.barabasi.com/f/625.pdf>. Accessed on: 02/12/2018.
- BARBIERI, F. Complexity and the Austrians. *Filosofia de la Economía*, v. 1, n. 1, p. 47-69, 2013.
- BOULDING, K.E. What is Evolutionary Economics? *Journal of Evolutionary Economics*, v. 1, n. 1, p. 9-17, 1991.
- BARBALHO, A. *Política Cultural*. Bahia: Secretaria Cultura Bahia, 2014. (Coleção Política e Gestão Cultural).
- CHORINCAS, J. Geografia Econômica: encontros e desencontros de uma ciência de encruzilhada. *Inforgeo*, n. 16/17, p. 109-122, 2001/02.
- CLARE, K. The essential role of place within the creative industries: Boundaries, networks and play. *Cities*, v. 34, p. 52-57, 2013.
- CLARK, T.; LLOYD, R.; WONG, K.; JAIN, P. Amenities drive urban growth. *Journal of Urban Affairs*, v. 24, n. 5, p. 493-515, 2002.
- CORCORAN, J.; FAGGIAN, A. Graduate migration and regional development: an international perspective. In: *Graduate Migration and Regional Development*. Edward Elgar Publishing, 2017.
- DA SILVA, F.R.M. As relações entre cultura e desenvolvimento e a economia criativa: reflexões sobre a realidade brasileira. *Revista NAU Social*, v. 3, n. 4, p. 111-121, maio/out. 2012.
- DAWID, H. *Agent-based Models of Innovation and Technological Change*. Bielefeld, Germany, Center of Empirical Macroeconomics, 2005. (Working Paper, n. 88).
- FAVARETTO, L.F.; CATELA, E.Y. Índice de potencial criativo dos municípios brasileiros: um enfoque multidimensional. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA ANPEC, 41., 2013, Foz do Iguaçu. *Anais [...]*. Foz do Iguaçu, ANPEC, 2013.
- FAGGIAN, A.; RAJBHANDARI, I.; DOTZEL, K. The interregional migration of human capital and its regional consequences: a review. *Regional Studies*, v. 51, n. 1, p. 1-16, 2017.
- FLORIDA, R. *The rise of the creative class*. New York: Basic Book, 2003.
- FLORIDA, R. *Cities and the Creative Class*. Oxon: Routledge, 2005.
- FLORIDA, R. *Who's your city?* New York: Basic books, 2008.
- FLORIDA, R. *The rise of the creative class revisited*. New York: Basic books, 2012.
- GIESEN, K.; SUEDEKUM, J. Zipf's Law for Cities in the Regions and the Country. *Journal of Economic Geography*, v. 11, n. 4, p. 667-686, 2011.

- JACOBS, J. *The Economy of Cities*. New York: Vintage Book Edition, 1970.
- JIANG, B.; YIN, J.; LIU, Q. Zipf's law for all the natural cities around the world. *International Journal of Geographical Information Science*, 2015, 29.3: 498-522.
- LANDRY, C. *The Creative City: a toolkit for urban innovators*. London: Earthscan Publications Ltd, 2000.
- LEE, J.-S.; FILOTOVA, T.; LINGMANN-ZIELISNKA, A.; HASSANI-MAHMOOEI, B.; STONEDAHL, F.; LORSCHIED, I.; VOINOV, A.; POLHILL, G.; SUN, Z.; PARKER, D.C. The complexities of Agent-Based Modeling Output Analysis. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, v. 18, n. 4, 2015. DOI: 10.18564/jass.2897.
- LUBART, T.; STEMBERG, R. *Defying the Crowd: Cultivating Creativity in a Culture of Conformity*. New York: Free Press, 2002.
- MACHADO, A.; SIMÕES, R.; DINIZ, S. Urban Amenities and the Development of Creative Clusters: The Case of Brazil. *Current Urban Studies*, v. 1, n. 4, p. 92-101, Dec. 2013. <http://dx.doi.org/10.4236/cus.2013.14010>.
- MARTIN, R.; SUNLEY, P. Complexity thinking and evolutionary economic geography. *Journal of Economic Geography*, v. 7, n. 5, p. 573-601, 2007. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbm019>.
- NELDER, J.A.; MEAD, R. A simplex method for function minimization. *The Computer Journal*, v. 7, n. 4, p. 308-313, 1965. <https://doi.org/10.1093/comjnl/7.4.308>.
- ORMEROD, P. Hayek, 'the intellectuals and socialism' and weighted scale-free networks.: *Economic Affairs*, v. 26, n.1, p. 41-47, 2006.
- PRATT, A. Urban Regeneration: From the Arts "Feel Good" Factor to the Cultural Economy: A Case Study of Hoxton, London. *Urban Studies*, v. 46, n. 5-6, p. 1041-1061, 2009.
- ROSEN, K.T.; RESNICK, M. The size distribution of cities: an examination of the Pareto law and primacy. *Journal of Urban Economics*, v. 8, n. 2, p. 165-186, 1980.
- ROSSER, J.B. Emergence and complexity in Austrian economics. *Journal of Economic Behavior & Organization*, v. 81, n. 1, p. 122-128, 2012.
- RUIZ, T.C.D.; MIKI, A.F.C.; GÂNDARA, J.M. A geografia econômica evolutiva como perspectiva de análise da dinâmica dos destinos turísticos. *Caderno Virtual de Turismo*, v. 14, n. 3, p. 315-336, dez. 2014.
- SPENCER, G.M. Creative economies of scale: an agent-based model of creativity and agglomeration. *Journal of Economic Geography*, v. 12, n. 1, p. 247-271, 2011. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbr002>.

SPENCER, G.M. Knowledge Neighbourhoods: Urban Form and Evolutionary Economic Geography. *Regional Studies*, v. 49, n. 5, p. 883-898, 2015.

TRUEMAN, M.; COOK, D. *Creativity and Regeneration: New Approaches to Old Problems in Re-branding Cities*. Bradford University School of Management, 2006. (Working Paper Series, n. 06/32).

UNCTAD. *Economy Report 2010*. New York and Geneva, United Nations, 2010.

YENCKEN, D. The Creative City. *Meanjin*, v. 47, n. 4, p. 597-608, 1988.

ZIPE, G.K. *The Psychology of Language*. Cambridge, MA: Houghton-Mifflin, 1935.

ZIPE, G.K. *Human behavior and the principle of least effort*. Cambridge, Massachusetts: Addison-Wesley, 1949.

Contribuição dos autores:

A. Fundamentação teórico-conceitual e problematização: Leonardo Favaretto e Eva Catela;

B. Pesquisa de dados e análise estatística: Leonardo Favaretto;

C. Elaboração de figuras e tabelas: Leonardo Favaretto e Eva Catela;

D. Elaboração e redação do texto: Leonardo Favaretto e Eva Catela;

E. Seleção das referências bibliográficas: Leonardo Favaretto e Eva Catela.

Conflito de interesse: não há conflito de interesse.

Fonte de financiamento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 4.0 Brasil