

## Princípios da Lei da Gravitação Universal aplicada ao potencial de atração das pessoas

### RESUMO

**Alessandro Vinícios Schneider**  
[alessandro.schneider@unespar.edu.br](mailto:alessandro.schneider@unespar.edu.br)  
Universidade Estadual do Paraná,  
Paranaguá, Paraná, Brasil

Princípios da lei da gravitação universal aplicada ao potencial de atração de pessoas. Neste trabalho é discutida a associação da Lei da Gravitação Universal para estimar o potencial de atração de pessoas por município, visando investigar a dinâmica econômica regional. Tais concepções foram aplicadas em um experimento envolvendo informações dos fluxos de passageiros no transporte coletivo intermunicipal da região do Segundo Planalto Paranaense, estado do Paraná, Brasil, além de fatores econômicos da região. Foi observado que os fluxos no transporte coletivo intermunicipal são diretamente proporcionais ao tamanho das massas das populações e inversamente proporcionais a distância que separa os municípios. Assim, de acordo com a Lei de Gravitação Universal, quanto maior a população do município e mais centralizada for essa força, maior será seu potencial de atração de pessoas. Entretanto com o esgotamento do fator de produção “terra” do lugar central, ocorre uma maior utilização desse fator proporcionando uma elevação dos preços nas áreas adjacentes ou mais próximas da centralidade. Outras associações também são apresentadas no trabalho, demonstrando aplicações da Lei da Gravitação Universal na investigação da dinâmica econômica regional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lugar central, massas das populações, distâncias das populações, economia regional.

## 1 INTRODUÇÃO

A ideia de associar a Lei da Gravitação Universal com distribuição de viagens surgiu com o economista e sociólogo norte-americano Henry Charles Carey, entre os anos de 1858 e 1859, quando sugeriu que os fenômenos da migração seguissem as leis da física newtoniana. Na qual o número de pessoas “atraídas” ou que migram para uma dada região ( $M_{ij}$ ) é proporcional ao produto das duas populações ( $P_i$  e  $P_j$ ) e inversamente relacionadas a distância entre elas.

Mas foi com as teorias das Leis da Migração (1888/89) do geógrafo e teórico inglês Ernest Raveinstein (1834-1913) que a ideia de que a migração era governada pelo processo “push-pull”, ou seja, condições desfavoráveis num lugar (falta de emprego, poucas oportunidades de desenvolvimento, governos ruins) empurravam as pessoas para outros lugares (chances de obter emprego, melhores padrões de vida) e que associou a distância como um fator de impedância para esse processo, assim as ideias de Carey começaram a ganhar mais força e sentido no campo das ciências sociais aplicadas.

Raveinstein estabeleceu a teoria da migração humana na década de 1880, que ainda é a base para a teoria da migração moderna. Ele considerou as implicações de distância e diferentes tipos de migrantes, com as mulheres mais propensas que os homens a migrar dentro do país de seu nascimento, mas menos prováveis do que os homens para deixar o país de seu nascimento.

Em 1931, William John Reylli publicou na Universidade do Texas o trabalho “The Law of Retail Gravitation” (Leis da Gravitação do Varejo) em que aplicando a teoria de Newton explicou os padrões de interação do comércio varejista. Alguns princípios formulados por Reilly foram assim denominados: a) a atração de fregueses varia diretamente com a população da área em que o varejo se encontra; b) a atração de fregueses varia inversamente com o quadrado da distância a ser percorrida por estes; c) uma cidade de maior população atrai o consumo de uma localidade menor, na proporção direta do número de habitantes; d) uma cidade com maior população atrai o consumo de uma localidade menor, na proporção inversa ao quadrado da distância entre elas.

Em 1955, com a consolidação da engenharia de tráfego com o trabalho publicado por H. J. Casey (“Applications to traffic engineering of the Law of retail gravitation” – Aplicações à Engenharia de Tráfego da Lei da Gravitação de Varejo) que adaptando as pesquisas de Reylli e de outros estudiosos, analisou o fluxo de compras no comércio varejista entre várias cidades.

Várias pesquisas posteriores foram realizadas após o trabalho de Casey, no entanto deve-se destacar o trabalho desenvolvido por Voorhees, mostrando que, embora o princípio da Lei da Gravitação Universal pudesse ser aplicado na distribuição de viagens, a medida de atratividade de uma zona e o expoente do fator distância varia com o propósito da viagem (BRUTON, 1979). Logo o modelo proposto por Henry Carey foi considerado uma analogia muito simplista com a Lei da Gravitação Universal e prontamente houve melhoras, caindo na forma que hoje é utilizada.

Então, ancorado nas ideias de Ernest Raveinstein e nas melhorias matemáticas de Voorhees e passando a compreender o trânsito como um conjunto imenso de fluxos migratórios (movimentos pendulares) é que se considera aplicar o Modelo Gravitacional para mensurar o número de viagens atraídas entre duas ou mais

entidades (bairros, cidades, estados, regionais, povoados) quaisquer e com essa ferramenta pode se iniciar o planejamento urbano e regional. Abre-se também a possibilidade de compreender a origem dos problemas sociais, econômicos, ambientais, entre outros.

Dessa maneira, surge um novo conceito de planejamento, onde a equação gravitacional tende a ser calibrada dentro do município a favor de conseguir atrair a população que hoje vive em movimento pendular com as cidades mais desenvolvidas onde são ofertados produtos e serviços especializados. Segundo Richardson (1975), embora vários usos tenham sido sugeridos para modelos dessa natureza, a vasta maioria das aplicações tem se relacionado com previsões de tendência de vendas a varejo ou padrões de viagens intermunicipais. Esses Modelos Gravitacionais podem proporcionar uma abordagem universal à interpretação das regiões nodais.

Os modelos gravitacionais se relacionam com a idéia de polo de atração ou de desenvolvimento. Desta forma, para Arango (2000) a localização poderia ser explicada pela distância a um polo de atração e pela importância deste, que funcionaria como uma analogia da massa no Modelo de Gravitação Universal de Newton. No caso da economia espacial, este tipo de modelo sugere forte ênfase à distância e ao tamanho do mercado.

“O modelo gravitacional é uma expressão derivada heurísticamente para sintetizar intercâmbios de viagens” (HUTCHINSON, 1979). Segundo Clemente (1994), a analogia denominada modelo gravitacional consiste em considerar a intensidade dos fluxos entre dois lugares em vez de forças de atração e substituir o conceito de massa de corpos por algum indicador de tamanho de lugares.

Segundo Meyer (1971), para modelos gravitacionais em análises de transporte urbano, o trânsito entre dois pontos deve ser hipoteticamente relacionado de modo positivo à “massa” em cada ponto e de modo negativo à “fricção”. A fricção pode ser medida em termos de distância, tempo, custo e vários outros fatores. Igualmente, a massa tem sido definida como população, número de proprietários de automóveis.

Conforme Isard (1975), a jornada de trabalho e outros padrões de viagens em determinada região pode-se desenvolver um modelo de gravidade. O autor comenta que em respeito à jornada de trabalho, ou “campos pendulares”, este conjunto se enquadra na classe geral de fenômenos espaciais que envolvem o movimento e comunicação sobre o espaço. Além disso, não existe um padrão geral para muitas diversas e importantes comunicações e movimentos das populações.

Segundo Isard (1975), no caso, o número previsto de viagens deve corresponder aos números reais as viagens. Supondo, medir o número de viagens reais ao longo do eixo horizontal e prever o número de viagens ao longo do eixo vertical. Em seguida, para o par de subáreas, “A” e “B”, se pode traçar sobre a figura que indica tanto o número real de viagens originários de “A” e terminando em “B” e o número teórico previsto pela fórmula. Para o autor, “se a teoria for boa, o real e números previstos deve ser o mesmo, ou aproximadamente”.

Isard (1975) comenta que esse tipo de relacionamento tem sido encontrado, em seus estudos, pode ser válido não só para o transporte, mas também para viagens intrametropolitanas ferroviária, viagens de avião, e viagens de ônibus entre pares de cidades, para o movimento de commodities, como que por

expresso ferroviário, por fenômenos de comunicação, tais como números de telefonemas e telegramas entre pares de cidades, e para muitos outros tipos de bens, pessoas e movimentos de idéias, como a disseminação de boatos, jornais de circulação, e a difusão de inovações.

Segundo Isard (1975), “tal como acontece com os fenômenos gravitacionais em física, não somos capazes de explicar os fenômenos de interação espacial da jornada ao trabalho e a relação no mundo social. Nós podemos apenas especular sobre o “porquê” delas”.

Isard (1975) argumenta que as cidades com população com alta renda e educação geram mais viagens de avião, remessas expressas ferroviária, cartas, telefonemas, telegramas e outras comunicações quando comparadas com cidades de populações com baixa renda e menor nível de educação.

Vários autores utilizaram-se do modelo gravitacional como ferramenta de análise de dados para explicar suas pesquisas. Portes e Rey (2005) e Head e Ries (2008) utilizando o modelo gravitacional observaram que grande parte do investimento direto estrangeiro (FDI) assume a forma de fusões e aquisições. Para Vietze (2008), nos fenômenos sociais, a variável dependente é a força de interação entre dois elementos sociais que representariam as “massas” no modelo tradicional de Newton. Esses elementos sociais poderiam ser: a população, o PIB, as quantidades de leitos disponíveis em hotéis, a quantidade de empresas de alimentação, as instituições de ensino, enfim qualquer tipo de elemento com caráter social.

Družić, Anić e Sekur, (2011) observaram que o uso de dados relativamente simples e fáceis de obter, como o PIB e a distância, tornou o modelo gravitacional particularmente popular na explicação dos padrões comerciais das economias em transição, que carecem de dados mais sofisticados e de séries mais longas sobre o comércio exterior. Arkolakis, Costinot e Rodríguez-Clare (2012) investigaram como os dados de micro-nível tiveram uma profunda influência na pesquisa em comércio nos últimos dez anos. Nijkamp (2013) aborda a validade da lei da gravitação universal de Newton no mundo emergente. Schneider et. al (2016) observaram o potencial de atração de pessoas por municípios. Allen, Arkolakis e Takahashi (2017) propõem uma nova estratégia para estimar a constante de gravidade usaram uma abordagem com variável instrumental que se baseia na estrutura geral de equilíbrio do modelo. Chaney (2018) estudou o comércio internacional bilateral.

Evidenciando, assim, por meio dessas várias pesquisas a potencialidade de aplicação do modelo para explicar diversos aspectos da dinâmica econômica. Dessa maneira, o presente estudo teve como propósito associar a Lei da Gravitação Universal para estimar o potencial de atração de pessoas por município, visando investigar a dinâmica econômica regional.

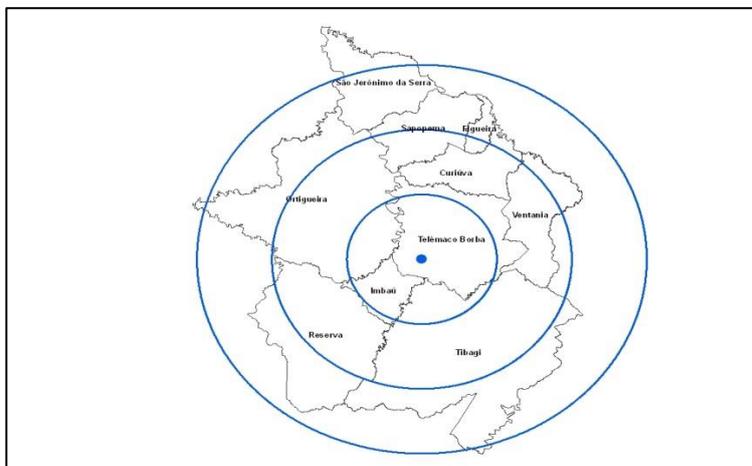
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Seleção do local de estudo

Esta pesquisa foi desenvolvida na região do Segundo Planalto Paranaense, estado do Paraná, Brasil. No experimento observaram-se em especial os

municípios de Telêmaco Borba, Ortigueira, Sapopema, Curiúva, Figueira, São Jerônimo da Serra, Imbaú, Reserva, Tibagi e Ventania.

Figura 1 – Municípios da região do Segundo Planalto Paranaense.



Por que foi escolhida essa região no estado do Paraná? A principal razão da escolha dessa região é que a economia da mesma se apresenta de forma diversificada, se destacando o setor madeireiro, tendo como pressuposto que o município de Telêmaco Borba foi inicialmente impulsionado pela atividade de madeira de processo para celulose e papel, ali localizado, e posteriormente foi disseminada a Atividade Florestal para os municípios vizinhos. Diante desse contexto, cabe lembrar a breve citação de Myrdal (1957), “a partir de uma aglomeração inicial, uma região na qual existisse economia de escala e desenvolvimento tecnológico atrairia novos recursos, que reforçariam circularmente a sua expansão”.

## 2.2 Modelo Gravitacional para explicar o potencial de atração nos municípios

Na aplicação da modelagem proposta por Isard (1975) utilizou-se as distâncias entre os municípios em estudo, suas respectivas populações e os fluxos de passageiros no ano de 2010 no transporte coletivo intermunicipal. A massa do modelo gravitacional no presente estudo corresponde a variável população ( $P_i$ ). Os dados são oriundos dos censos realizados no ano de 1991, 2000 e 2010 pelo IBGE. Para compor o Modelo Gravitacional original, os valores da distância ( $d_{ij}$ , em quilômetros) entre os municípios foram fornecidas pelo Departamento de Estradas e Rodagem do Estado do Paraná (DER/PR, 2010).

O número de viagens realizadas na área de estudo foi originado nos dados observados por DER/PR (2010), e corresponde ao número de viagens intermunicipais realizadas no transporte coletivo intermunicipal, entre os municípios da região no ano de 2010. Entre as 90 possibilidades de fluxos obtiveram-se 43, pois o restante não ocorreram, devido à não possuir linhas regulares e diretas de transporte coletivo intermunicipal entre alguns municípios. Observou-se que o  $n$  amostral foi de 309.079 deslocamentos no ano de 2010.

O estudo tem como características de ser exploratório, com uma abordagem quantitativa a partir de dados secundários. Para a aplicação da modelagem proposta por Isard (1975), utilizaram-se as distâncias entre os municípios, suas

respectivas populações e os fluxos de passageiros observados no transporte coletivo intermunicipal.

Dessa maneira, conforme as propostas de Newton, o valor da força de atração (F) é diretamente proporcional às massas dos dois corpos e é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os mesmos. As forças aparecem aos pares, ou seja, se um corpo atrai outro, é também atraído pelo primeiro. No presente estudo, a constante (G) representa um fator de correção entre às unidades de massas e a distância que a separa.

Com todas as variáveis e constantes obtidas por meio desses procedimentos matemáticos, aplicou-se o modelo desenvolvido por Isard (1975) para se obter um novo fluxo estimado pelo modelo gravitacional dos deslocamentos das pessoas por meio de transporte coletivo intermunicipal. Tal qual, é expresso por:

$$I_{ij} = G \frac{P_i * P_j}{(d_{ij})^b} \quad (1)$$

Em que:  $I_{ij}$  = Fluxo estimado; G = Fator de correção;  $P_i$  = População de i;  $P_j$  = População de j;  $d_{ij}$  = distância entre i e j; b = coeficiente exponencial

Para determinar ou estimar o Potencial de Atração ( $V_i$ ) dos municípios da região do Segundo Planalto Paranaense, observou-se o Princípio da Superposição. Isso quer dizer que, quando duas ou mais ondas se propagam simultaneamente num mesmo meio e instante e na mesma direção, diz-se que há uma superposição de ondas. A onda resultante é igual à soma algébrica das ondas que cada uma produziria individualmente. Esse princípio pode ser aplicado para se obter uma grandeza escalar resultante. Assim, considerando os fluxos de passageiros no transporte coletivo intermunicipal, como ondas, quanto maior for o volume e a intensidade desses fluxos para o mesmo município, maior será o seu potencial de atração ( $V_i$ ).

Conforme Schneider et.al. (2016), podem-se dar duas interpretações ao conceito de potencial de atração ( $V_i$ ). Por um lado, é uma medida da influência ou do impacto que exercem sobre o ponto i, e o conjunto de massas distribuídas no espaço (incluindo a própria massa de i). Por outro lado, é uma medida de acessibilidade do ponto i ao conjunto de massas distribuídas no espaço em estudo. Dessa maneira quanto maior for à intensidade ao ponto i, quando comparado com os outros pontos, maior será seu potencial de atração ( $V_i$ ).

Diante desse contexto, a interação (ou fluxo) entre os pontos i e j estimado pelo modelo apresentado pode ser calculada de maneira a obter a interação entre i com todos os pontos j, o que representa o potencial de atração ( $V_i$ ) do ponto i. Cabe dizer, o potencial de atração ( $V_i$ ) do ponto i é igual a sua própria massa ( $P_i$ ), acrescido das massas dos pontos restantes, cada uma corrigida por sua distância a i, multiplicada por uma constante (G). Como descrito, a interação entre i e j é expressa por:

$$V_i = 1 + (I_{i1} + I_{i2} + I_{i3} + \dots + I_{in}) \quad (2)$$

Em que:  $V_i$  = Potencial de Atração do município i;  $I_{i1}$  = Fluxo Estimado do município 1 para i;  $I_{i2}$  = Fluxo Estimado do município 2 para i;  $I_{i3}$  = Fluxo Estimado do município 3 para i;  $I_{in}$  = Fluxo Estimado do município n para i.

A primeira abordagem realizada utilizou-se do modelo gravitacional original por meio do transporte coletivo intermunicipal original denominado modelo

gravitacional 1, observando os dados referentes à população, no ano de 1991, e os fluxos observados (lij) no ano de 2010 e as respectivas distâncias entre os municípios.

O modelo gravitacional 2 foi observado à população no ano 2000, e os fluxos no transporte coletivo intermunicipal no ano de 2010. O modelo gravitacional 3 foi observado à população no ano de 2010 e os fluxos observados (lij) no mesmo período. Em todos os ajustes realizados estimou-se o potencial de atração ( $V_i$ ) de pessoas por meio do método proposto.

Os modelos ajustados foram avaliados valendo-se das estatísticas de coeficiente de determinação ajustado, estatística F e erro padrão em porcentagem.

### 3 RESULTADOS

Quando comparadas as três situações, os modelos gravitacionais apresentaram o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) idênticos (TABELA 1). O modelo gravitacional 3 apresentou o melhor  $R^2$  (0,7287) e o modelo gravitacional 1 o maior F (110,16).

O coeficiente  $b_1$  está diretamente ligado ao atrito que a distância proporciona ao deslocamento das pessoas, seja esse atrito de ordem física, psicológica, comportamental, entre outros. No modelo gravitacional 1 ( $b_1 = -3,189$ ), a população apresentou maior elasticidade em relação ao atrito referente à distância a ser percorrida em seus deslocamentos ou viagens entre os municípios (TABELA 1). Por outro lado, no modelo gravitacional 3 ( $b_1 = -3,087$ ), se apresentou menos elástica aos deslocamentos.

TABELA 1 – Estatísticas de ajuste dos modelos referentes aos fluxos de deslocamentos e a distância entre os municípios da região do segundo planalto paranaense

MODELOS	$R^2$	$S_{xy}\%$	F	$b_0$	$b_1$
Modelo gravitacional 1	0,7281	16	110,16	5,24	-3,189
Modelo gravitacional 2	0,7247	17	107,98	5,06	-3,092
Modelo gravitacional 3	0,7287	17	109,80	5,05	-3,087

Entre as constantes calculadas nas três situações distintas, o modelo gravitacional 1 obteve a maior constante k (1,71), ou seja, o maior deslocamento médio por indivíduo (TABELA 2).

Quando se analisa o fator de correção (G), observou-se que na situação do modelo gravitacional 1, o fator de correção possuiu um valor mais elevado (1,63) quando comparada com as outras situações em análise (TABELA 2). Esse fator fez com que ocorresse um acréscimo na grandeza do quociente entre o produto das massas e a distância que as separa. Esse fator proporcionou um melhor ajuste no modelo gravitacional para que ocorresse a igualdade entre a grandeza dos fluxos

estimados ( $I_{ij}$ ), e a grandeza do quociente entre o tamanho das massas e as distâncias que as separa.

TABELA 2 – Constantes do modelo gravitacional dos deslocamentos de passageiros no transporte coletivo intermunicipal na região do Segundo Planalto Paranaense

MODELOS	K	Fator de Correção (G)
Modelo gravitacional 1	1,71	1,63
Modelo gravitacional 2	1,65	1,01
Modelo gravitacional 3	1,55	0,87

Observou-se no modelo gravitacional 1, o fator de correção foi maior quando comparado com as outras situações. O fator de correção (G) no modelo gravitacional 3 foi de 0,87, ou seja, esse fator fez com que ocorresse uma diminuição na grandeza do quociente entre o tamanho das massas e a distância que as separa. Esse fator proporcionou a igualdade entre as grandezas analisadas. Nessa situação específica, pode se afirmar que o aumento da população (1991/2010), fez com que o fator, ao longo do tempo, decrescesse. Em 1991, o fator de correção foi maior, quando comparado com as outras situações, porque os fluxos estimados ( $I_{ij}$ ) eram maiores que a grandeza do quociente entre o tamanho das massas e a distância que as separa.

Quando se observa o modelo gravitacional 2, esse fator se apresentou igual 1,01, ou seja, nessa situação os fluxos estimados ( $I_{ij}$ ) se apresentaram em igualdade com a grandeza do quociente entre o tamanho das massas e a distância que as separa. Nesse caso, é verdadeiro afirmar que o fluxo das pessoas no transporte coletivo intermunicipal da região do Segundo Planalto Paranaense é diretamente proporcional ao tamanho das populações dos respectivos municípios e inversamente proporcional a distância que os separa. Nesse modelo pode se observar uma situação perfeita no que se refere à lei da Física, desenvolvida por Isaac Newton, onde a força de atração entre dois corpos é diretamente proporcional ao seu tamanho e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa.

Quando realizada a regressão do modelo gravitacional 1, a equação obtida foi:

$$\text{Log} (I_{ij}/T_{ij}) = 5,2371 - 3,1889 \text{ Log} (d_{ij}) \quad (3)$$

Os fluxos estimados ( $I_{ij}$ ) no transporte coletivo intermunicipal deveriam ocorrer em menor quantidade do que foi observado para que ocorresse o equilíbrio entre os dois lados da equação. O fator de correção proporcionou um acréscimo no valor da grandeza do quociente entre o tamanho das massas e a distância que as separa para que ocorresse a igualdade matemática no modelo gravitacional.

O modelo gravitacional ajustado pode, então, ser escrito como:

$$I_{ij} = 1,63 \frac{P_i * P_j}{(d_{ij})^{3,18}} \quad (4)$$

No que se refere ao potencial de atração ( $V_i$ ), ou seja, a capacidade de atração de cada município na região pode ser representada pela equação:

$$V_i = 1,63 * P_i + 1,63 * \frac{P_i * P_1}{(d_{i1})^{3,18}} + 1,63 * \frac{P_i * P_2}{(d_{i2})^{3,18}} + \dots + 1,63 * \frac{P_i * P_n}{(d_{in})^{3,18}} \quad (5)$$

Quando realizada a regressão do modelo gravitacional 2, a equação obtida foi:

$$\text{Log} (I_{ij}/T_{ij}) = 5,0558 - 3,0921 \text{ Log} (d_{ij}) \quad (6)$$

Nesse caso específico, à grandeza do quociente entre o tamanho das populações e a distância que as separa estão em equilíbrio ou em igualdade com os fluxos estimados ( $I_{ij}$ ) ocorridos nos município da região do Segundo Planalto Paranaense.

Os fluxos estimados ( $I_{ij}$ ) no transporte coletivo intermunicipal ocorrem em quantidades idênticas ao que foi observado, sendo assim, pode-se dizer que ocorre um equilíbrio entre os dois lados da equação. O fator de correção não proporciona correção entre os dois lados da equação matemática, podendo-se afirmar que os fluxos estimados ( $I_{ij}$ ) são diretamente proporcionais ao tamanho das massas (população) e inversamente proporcionais à distância que as separa.

O modelo gravitacional ajustado pode, então, ser escrito como:

$$I_{ij} = 1,01 \frac{P_i * P_j}{(d_{ij})^{3,09}} \quad (7)$$

No que se refere ao potencial de atração ( $V_i$ ), ou seja, a capacidade de atração de cada município na região pode ser representada pela equação:

$$V_i = 1,01 * P_i + 1,01 * \frac{P_i * P_1}{(d_{i1})^{3,09}} + 1,01 * \frac{P_i * P_2}{(d_{i2})^{3,09}} + \dots + 1,01 * \frac{P_i * P_n}{(d_{in})^{3,09}} \quad (8)$$

Quando realizada a regressão do modelo gravitacional 3, a equação obtida foi:

$$\text{Log} (I_{ij}/T_{ij}) = 5,0505 - 3,087 \text{ Log} (d_{ij}) \quad (9)$$

Os fluxos estimados  $I_{ij}$  no transporte coletivo intermunicipal deveriam ocorrer em maior quantidade do que foi observado para que ocorresse o equilíbrio entre os dois lados da equação. O fator de correção proporcionou uma diminuição no valor da grandeza do quociente entre o tamanho das massas e a distância que as separa para que ocorresse a igualdade matemática no modelo gravitacional.

O modelo gravitacional ajustado pode, então, ser escrito como:

$$I_{ij} = 0,87 \frac{P_i * P_j}{(d_{ij})^{3,08}} \quad (10)$$

No que se refere ao potencial de atração ( $V_i$ ), ou seja, a capacidade de atração de cada município na região pode ser representada pela equação:

$$V_i = 0,87 * P_i + 0,87 * \frac{P_i * P_1}{(d_{i1})^{3,08}} + 0,87 * \frac{P_i * P_2}{(d_{i2})^{3,08}} + \dots + 0,87 * \frac{P_i * P_n}{(d_{in})^{3,08}} \quad (11)$$

#### 4 DISCUSSÕES

Observando a configuração da distribuição do potencial de atração (Vi) de pessoas nos municípios da região do Segundo Planalto Paranaense, isso remete a teoria proposta por Chirstaller (1966), onde o autor procurou entender as leis que determinam o número, tamanho e distribuição das cidades, que, segundo ele, são conhecidas como lugares centrais. Nesse caso, se caracteriza o município de Telêmaco Borba como núcleo principal e os municípios vizinhos como região complementar. Portanto, observa-se um comportamento de região nodal ou polarizada.

A distribuição espacial dos municípios da região do Segundo Planalto Paranaense resulta num espaço econômico organizado em torno de um núcleo urbano principal. Observada nessa ótica, a distribuição espacial da população pode ser considerada como estando num sistema hierárquico e com as mais variadas ligações funcionais, proporcionando um sistema hierárquico do potencial de atração (Vi) de pessoas proporcional idêntico à distribuição populacional.

A região do Segundo Planalto Paranaense, Telêmaco Borba é o centro dominante com a maior população, e no seu entorno gravitam fluxos de populações, bens e serviços, comunicação e tráfego contemplando a região complementar. A centralidade proporcional da população de Telêmaco Borba determina a centralidade do potencial de atração (Vi) de pessoas, fazendo com que esse potencial seja mais intenso nas regiões mais próximas do centro decorrente do fator distância, quando comparado com municípios mais distantes do lugar central.

Diante desse contexto, ressalta-se a teoria proposta por Hirshman (1958), partindo do pressuposto de que o progresso econômico não ocorre ao mesmo tempo em toda a parte e que, uma vez ocorrido, determinadas forças provocam uma concentração espacial do crescimento econômico, em torno dos pontos onde o processo se inicia.

O município de Telêmaco Borba foi inicialmente impulsionado pela atividade de madeira de processo para papel, e posteriormente para celulose. Decorrente da demanda gerada por esse processo, a Atividade Florestal (plantios de florestas) foi disseminada primeiramente no município de Telêmaco Borba e posteriormente para os municípios mais próximos.

Esse processo de desenvolvimento do lugar central se iniciou na década de 1950, e se intensificou na década de 1980, com o APL instalado no município. Os plantios de florestas para fins comerciais em Telêmaco Borba e nos municípios vizinhos (Imbaú, Curiúva e Ventania) aumentaram decorrente dos incentivos fiscais para reflorestamentos na década de 1970, com o intuito de aumentar a oferta de madeira.

Os municípios vizinhos, ou mais próximos do lugar central, quando comparados com os municípios mais distantes, se beneficiam devido à diminuição do atrito referente à distância entre eles e o lugar central. Assim, quanto maior foi o incremento dos benefícios pertinentes a esse potencial e por consequência ocorreu um aumento na população desses municípios. Os mais distantes perdem o potencial de atração (Vi) de pessoas para o lugar central, proporcionado uma diminuição desse potencial ao longo do tempo, quando comparado aos mais próximos do centro de atração. Nesse período ocorreu uma política, de ordem

privada, de desenvolvimento florestal na região do Segundo Planalto Paranaense, denominada Fomento Florestal, com o intuito de aumentar a oferta de madeira reflorestada na região, e por consequência, o desenvolvimento dos municípios mais próximos a Telêmaco Borba decorrente da falta do fator “terra” no lugar central.

Conforme Richardson (1973), em sua teoria proposta, os movimentos dos fatores de produção podem não ser equilibrados, e os municípios em atraso ou menos desenvolvidos sofrem com fugas de capitais bem como da emigração. Observando nessa ótica, o comportamento do potencial de atração (Vi) de pessoas dos municípios mais distantes do lugar central tendeu a perder força devido à emigração ocorrida nos municípios de Ortigueira, São Jerônimo da Serra, Figueira e Sapopema, decorrentes da diminuição das oportunidades para a população desses municípios.

Essa característica do movimento dos fatores de produção se deve as oportunidades geradas no lugar central. Assim, quanto maior a centralidade de um lugar, nesse caso Telêmaco Borba, maior será o entorno, ou área de influência, sendo que os municípios vizinhos dependem do lugar central. E quanto mais complexos os serviços oferecidos, maior será a região atendida por esse centro. Assim, quanto maior a população, mais provável que suas taxas de crescimento e seus níveis de desenvolvimento econômico sejam mais elevados, quando comparados aos seus pares.

Na região do Segundo Planalto Paranaense se faz notar a interdependência do crescimento econômico entre os municípios e o lugar central. Telêmaco Borba detém o melhor índice referente ao número de empresas, maior renda per capita, mais e melhores serviços, número de agências bancárias, número de leitos, entre outros serviços públicos ou privados, gerando uma concentração espacial. O lugar central gera externalidades positivas para os municípios mais próximos.

A concentração espacial pode ser compreendida como acesso a um mercado maior, com oferta de mão-de-obra mais abundante e mais qualificada, bem como a presença de facilidades comerciais, bancárias, financeiras, jurídicas, entre outras. Por outro lado, as grandes concentrações acarretam deseconomias pecuniárias tais como valores de terra em elevação, custos de aluguéis mais caros, entre outros fatores. Mas raramente essas deseconomias destroem o potencial de atração (Vi) do lugar central, levando a um aumento na aglomeração dos municípios mais próximos do centro de atração, nesse caso Telêmaco Borba.

Essa afirmativa se justifica, pois nos municípios de Ventania, Imbaú, Curiúva e Tibagi, ocorreu crescimento populacional entre os anos de 1991 e 2010, e por consequência um aumento no potencial de atração (Vi) de pessoas. Esse comportamento não foi observado nos municípios mais distantes, sendo que São Jerônimo da Serra, Sapopema, Figueira e Ortigueira perderam parte de sua população no período de 1991 a 2010, e por consequência, parte do seu potencial de atração (Vi) de pessoas.

Entre os anos 1991 e 2000, a região do Segundo Planalto Paranaense possuía o potencial de atração (Vi) de pessoas maior que a população total da região. Sendo assim, pressupõe-se que nesse período ocorreu uma intensa utilização do fator de produção Capital (K) e de Recursos Naturais (terra), fazendo com que aumentasse a população total na região, decorrente da maior oferta de oportunidades nos municípios, principalmente em Telêmaco Borba.

No ano 2000, nota-se um equilíbrio entre os fatores de produção. Essa característica está vinculada com o encontro das retas do potencial de atração (Vi) e a população total da região.

No período entre 2000 e 2010, o potencial de atração (Vi) de pessoas diminuiu, tornando-o menor que a população da região. Essa característica pode estar associada à diminuição da oferta dos fatores de produção, principalmente o fator “terra”, proporcionando um limite de crescimento e, por consequência, estabilizando a centralidade da região.

Ao longo das décadas de 1991 a 2010, o potencial de atração (Vi) de pessoas na região do Segundo Planalto Paranaense apresenta uma reta com inclinação negativa devido o decréscimo do potencial dos municípios mais distantes do lugar central. No ano de 1991, o potencial apresentava um valor de 295.202. No ano 2000, esse valor diminuiu para 188.026 e no ano de 2010 passou para 174.236 (TABELA 03).

Diferentemente, a população total da região apresenta uma reta positivamente inclinada, devido ao aumento da população de Telêmaco Borba e dos municípios mais próximos ao lugar central. Diante desse panorama, observou-se que ocorreu um incremento populacional nos municípios mais próximos a Telêmaco Borba, principalmente em Ventania, Imbaú e Curiúva. Essa característica pode estar vinculada à oferta do fator de produção “terra”. No município de Telêmaco Borba a oferta desse fator se apresenta limitada, tornando-o escasso, quando comparado com os outros municípios da região. Segundo DERAL (2014) o preço das terras mecanizadas aumentaram 375 %, passando de R\$ 4.400,00 o hectare para R\$ 16.500,00 entre anos de 2000 e 2010.

TABELA 03: Potencial de atração dos municípios do Segundo Planalto Paranaense.

MUNICÍPIO	1991	(%)	2000	(%)	2010	(%)
Telêmaco Borba	94.984	32,18%	61.595	32,76%	61.085	35,06%
Reserva	39.029	13,22%	24.117	12,83%	22.007	12,63%
Ortigueira	44.914	15,21%	25.363	13,49%	20.440	11,73%
Tibagi	26.820	9,09%	18.543	9,86%	16.913	9,71%
Curiúva	17.152	5,81%	12.980	6,90%	12.173	6,99%
São Jerônimo da Serra	21.678	7,34%	11.819	6,29%	9.911	5,69%
Imbaú	13.038	4,42%	9.534	5,07%	9.861	5,66%
Ventania	10.347	3,51%	8.071	4,29%	8.705	5,00%
Figueira	15.653	5,30%	9.091	4,84%	7.251	4,16%
Sapopema	11.587	3,93%	6.913	3,68%	5.890	3,38%
TOTAL	295.202	100 %	188.026	100 %	174.236	100 %

Com as políticas públicas e privadas de desenvolvimento implementadas proporcionou um aumento na oferta de matéria-prima, ou seja, com esse incremento das políticas proporcionou uma maior utilização do fator “terra” nos municípios no entorno do lugar central, decorrente da escassez desse recurso no município de Telêmaco Borba. Assim, pode se afirmar que ocorreu um aumento na área de influência do município de Telêmaco Borba, decorrente do aumento da amplitude do raio de influência do lugar central, fazendo com que ocorresse um incremento no potencial de atração (Vi) de pessoas nos municípios mais próximos

ao lugar central. Por consequência, a escassez do fator de produção “terra”, no lugar central, proporcionou novos investimentos nos municípios mais próximos.

No primeiro momento, esses investimentos se deram em plantios de florestas para fins comerciais para suprir a demanda do município de Telêmaco Borba. E no segundo momento, em empresas de pequeno e médio porte, direcionadas a produtos de base florestal, visando obter as facilidades e benefícios provenientes do arranjo produtivo local instalado em Telêmaco Borba e a distância da matéria-prima, ali localizada provenientes desses plantios.

Nos municípios mais distantes, Ortigueira, São Jerônimo da Serra, Figueira e Sapopema, ocorreu uma diminuição da população total ao longo do tempo. Essa característica está vinculada ao potencial de atração (Vi) de pessoas de Telêmaco Borba, fazendo com que esses municípios perdessem população para o lugar central e para os municípios mais próximos decorrente da migração rural-urbano ocorrido ao longo do período na região, principalmente entre os anos de 1991 e 2000. A população rural dos municípios mais distantes migrou para a zona urbana de Telêmaco Borba e para os municípios de Ventania, Imbaú, Curiúva.

Em Reserva, observou-se uma situação atípica quando comparada com outros municípios. O município apresentou uma estabilização no crescimento populacional e, por consequência, uma estabilização no potencial de atração (Vi) de pessoas, sendo o segundo maior potencial da região. Essa característica pode estar vinculada ao equilíbrio entre a oferta e demanda dos fatores de produção disponíveis no município, tornando-o num “nódulo” com menor dependência de Telêmaco Borba, quando comparado com os municípios mais próximos (Imbaú, Ventania e Curiúva) e os municípios mais distantes (Ortigueira, São Jerônimo da Serra, Sapopema, Figueira).

Quando observado o comportamento da tendência do potencial de atração (Vi) de pessoas na região do Segundo Planalto Paranaense e o comportamento individual de cada município que compõe a região, os que se diferenciaram em relação aos seus pares, foram Imbaú, Ventania e Curiúva. No ano de 1991, o município de Imbaú representava 4,4%, crescendo para 5,1% no ano 2000 e 5,7% no ano 2010. Observou-se uma tendência de crescimento do potencial proporcional nos últimos dez anos, resultando em uma tendência positiva, quando comparado com a região. Essa característica está vinculada aos novos investimentos realizados no município, tornando-o mais dinâmico com o aumento de novas oportunidades de negócios, de serviços, de empregos, proporcionando melhor qualidade de vida aos municípios.

O município de Ventania obteve 3,5% do potencial de atração (Vi) de pessoas da região no ano de 1991. No ano 2000, o potencial cresceu para 4,3% e, em 2010 foi de 5%. Ocorreu a mesma tendência de crescimento, quando comparado com o município de Imbaú. Essa tendência positiva pode ser decorrente do aumento significativo da população total entre o período de 1991 a 2010, decorrente de novas oportunidades no setor agropecuário desenvolvido no município. Esses municípios foram os que mais agregaram população nesse período decorrente do potencial de atração (Vi) de pessoas.

Situação inversa ocorreu com Ortigueira, que no ano de 1991 representava 15,2%, em 2000 13,5%, sendo o segundo maior potencial nesse período. No ano de 2010 o potencial de atração (Vi) de pessoas no município diminuiu para 11,7%, representando o terceiro maior potencial. Dentre os municípios observados,

Ortigueira apresentou a maior oscilação da proporcionalidade desse índice. Esse resultado está diretamente ligado ao fato que, nesse mesmo período, o município perdeu 14,99% de sua população total, principalmente entre os anos de 1991 e 2000. Quando comparado aos seus pares, foi o que perdeu mais população em números absolutos. Essa característica está vinculada com a diminuição ou não surgimento de novos investimentos no município proporcionando uma emigração da população para municípios que apresentaram novas oportunidades nesse período.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fluxos observados no transporte coletivo intermunicipal são diretamente proporcionais ao tamanho das massas e inversamente proporcionais a distância que as separa, e pode ser expressa por uma força central, atrativa, hierarquicamente organizada pelo tamanho das populações e as distâncias que as separam.

Na modelagem gravitacional, quanto maior for a população do município maior será seu potencial de atração de pessoas. O município com maior potencial de atração de pessoas é Telêmaco Borba, seguido do município de Reserva. Os municípios em destaque no estudo são Imbaú, Ventania e Curiúva, devido a maior proximidade de suas áreas da região central. Nesses é observado um aumento do potencial de atração de pessoas ao longo do tempo e, por consequência, um aumento da população dos respectivos municípios.

Nos municípios mais distantes da área central ocorre uma diminuição da população, devido a proporcionalidade da diminuição do potencial de atração de pessoas. Esses municípios são Ortigueira, Tibagi, Sapopema, São Jerônimo da Serra e Figueira.

A variável população isoladamente não explica totalmente o comportamento das pessoas no que se refere a deslocamentos no transporte coletivo intermunicipal. O modelo desenvolvido por Newton tem como característica ser estático e fechado, demonstrando limitação na explicação da atratividade de pessoas entre os municípios. Daí a importância em se estabelecer os fatores de correção e ponderação que foram apresentados nesse trabalho.

Por meio do fator de produção “terra”, que tem características de restrições proporcionando o seu esgotamento no lugar central, ocorre uma maior utilização desse fator ocasionando uma elevação dos preços nas áreas adjacentes ou mais próximas da centralidade, resultando em um aumento significativo do potencial de atração de pessoas para essas áreas.

Por meio das devidas modificações no modelo gravitacional desenvolvido por Newton, apresentadas neste trabalho, são evidenciados bons resultados no que se refere a aplicações práticas para o desenvolvimento regional, ou seja, possibilitando desenvolver estudos de desenvolvimento econômico regional. Valendo-se da modelagem proposta, podem ser desenvolvidos cenários futuros onde poderá ser evidenciado o cenário presente e quantificado o impacto gerado por novos investimentos regionais.

Em pesquisas futuras sugere-se adicionar o potencial de atração de informação, substituindo os fluxos no transporte coletivo intermunicipal pelos

fluxos de ligações telefônicas intermunicipais, e, assim, determinar o grau de informação gerado por um determinado município.

# Principles of the Law of Universal Gravitation applied to the potential to attract people

## ABSTRACT

Principles of the law of universal gravitation applied to the potential to attract people. This work discusses the association of the Law of Universal Gravitation to estimate the potential to attract people by municipality, aiming to investigate regional economic dynamics. Such conceptions were applied in an experiment involving information of the flows of passengers in the intercity public transportation in the Second Paraná Plateau, State of Paraná, Brazil, besides economic factor of the regions. The flows observed in the intercity public transportation are proportional to the size of the population masses and inversely proportional to the distance that separates the municipalities. Therefore, according to the Law of Universal Gravitation, the larger the population in the municipality and the more centralized the force, the greater the potential to attract people. However, with the exhaustion of the production factor land in the central location, occurs greater use of this factor than other locals, resulting in an increase in prices in areas adjacent to or closer it. Other associations are also presenter in this paper, including applications of the law of universal gravitation in studies of regional economic dynamics.

**KEY WORDS:** Central location, population masses, population distances, regional economy.

## REFERÊNCIAS

ALLEN T., ARKOLAKIS C., e TAKAHASHI Y. Universal Gravity. Disponível em: <<http://www.econ.yale.edu/~ka265/research/UniversalGravity/AAT%20%20Universal%20Gravity%20-%20paper.pdf>>, (2017), Acesso em 10 de abril 2018.

ARANGO, J. Explaining Migration: A Critical View. *International Social Science Journal*, v. 52, p. 283-296, 2000.

ARKOLAKIS, C, COSTINOT, A, e RODRÍGUEZ-CLARE, A. New Trade Models, Same Old Gains? *American Economic Review*, 102(1): 94–130, 2012.

BRUTON, M. J. *Introdução ao Planejamento dos Transportes*. Interciência: Rio de Janeiro, 1979.

CLEMENTE, A. *Economia regional e urbana*. São Paulo: Atlas, 1994.

CHANEY T. "The Gravity Equation in International Trade: An Explanation," *Journal of Political Economy*. 126, no. 1: 150-177. 2018.

CHRISTALLER, W. *Central places in southern Germany*. New Jersey: Prentice-Hall, 1966.

Departamento de Estrada e Rodagem – DER. *Anuário estatístico do sistema de transporte coletivo regular intermunicipal de passageiros do estado do Paraná*. Curitiba, 2010.

Departamento de Economia Rural – DERAL. Disponível em: <[http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/terras\\_pdf\\_publicacao.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/terras_pdf_publicacao.pdf)>. Acesso em 28 de março de 2014.

DRUŽIĆ, I., ANIĆ, M., e SEKUR, T. Gravity Model of Croatian Regional Foreign Trade. *Proceedings of 8th International Conference: Economic Integration, Competition and Cooperation*, 6-9 April, Opatija, University of Rijeka – Faculty of Economics, CD with Full papers, 2011.

HEAD, K. e RIES, J. FDI as an outcome of the market for corporate control: Theory and evidence. *Journal of International Economics*, Elsevier, vol. 74(1), pages 2-20, 2008.

HIRSCHMAN, A. O. *The strategy of economic development*. New Haven: Yale University Press, 1958.

HUTCHINSON, B. G. *Princípios de Planejamento do Sistema de Transporte Urbano*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1979.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Censo demográfico*. Rio de Janeiro, 2010.

ISARD, W. *Introduction to Regional Science*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1975.

MEYER, J, R. *Panorama da moderna teoria econômica*. São Paulo: Atlas, 1971.

MYRDAL, G. *Economic theory and under-developed regions*. London: Gerald Duckworth & CO. LTD, 1957.

NIJKAMP P. The universal law of gravitation and the death of distance. *Romanian Journal of Regional Science*, vol. 7, issue 2, 1-10, 2013.

PORTES, R, REY, H. / The determinants of cross-border equity flows. *Journal of International Economics*, vol 65, 269–296, 2005.

SCHNEIDER, A.V. et al. Potencial de atração de pessoas na região do Segundo Planalto Paranaense. *Floresta*, vol 46, Nº 3, pag 379-386, 2016.

RICHARDSON, H. W. *Elements of regional economics*. England: Penguin Books INC., 1969.

RICHARDSON, H. W. *Economia regional: teoria da localização, estrutura urbana e crescimento regional*. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1975.

VIETZE, C. *Cultural effects on inbound tourism into the USA: A gravity approach*. Jena Economic Research papers. Jena, Germany, 2008.

**Recebido:** 19 fev. 2019.

**Aprovado:** 07 mai. 2019.

**DOI:** 10.3895/rbpd.v8n2.8306

**Como citar:** SCHNEIDER, A. V. Princípios da Lei da Gravitação Universal aplicada ao potencial de atração de pessoas. **R. bras. Planej. Desenv.**, Curitiba, v.8, n. 2, p. 255-273, mai./ago. 2017. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Alessandro Vinícios Schneider

Rua Comendador Correa Junior, 117 - Centro – Paranaguá, PR

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

