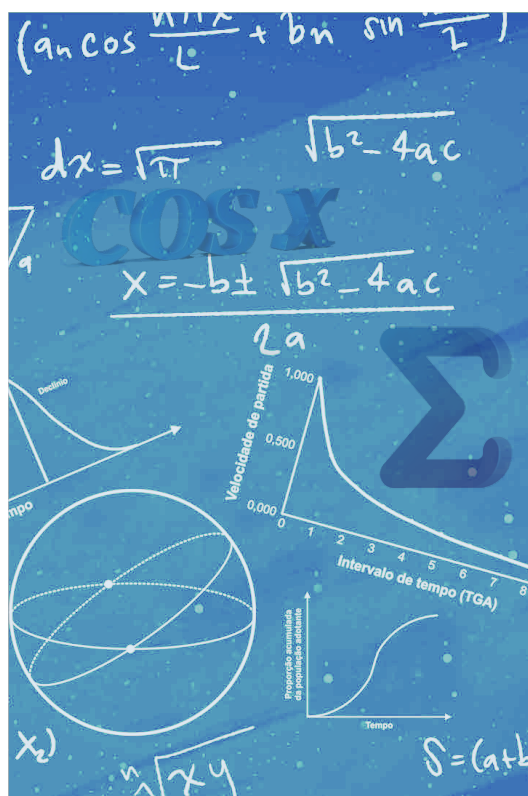


Método matemático de indicadores de adoção de tecnologias agropecuárias



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Mandioca e Fruticultura
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
126**

Método matemático de indicadores de
adoção de tecnologias agropecuárias

Clóvis Oliveira de Almeida

Embrapa Mandioca e Fruticultura
Cruz das Almas, BA
2021

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Mandioca e Fruticultura
Rua Embrapa, s/nº, Caixa Postal 07
44380-000, Cruz das Almas, Bahia
Fone: 75 3312-8048
Fax: 75 3312-8097
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Mandioca e Fruticultura

Presidente
Francisco Ferraz Laranjeira

Secretário-Executivo
Maria da Conceição Pereira da Silva

Membros
Ana Lúcia Borges, Áurea Fabiana Apolinário de Albuquerque Gerum, Cinara Fernanda Garcia Morales, Harllen Sandro Alves Silva, Herminio Souza Rocha, Jailson Lopes Cruz, José Eduardo Borges de Carvalho, Paulo Ernesto Meissner Filho, Tatiana Gôes Junghans

Supervisão editorial
Francisco Ferraz Laranjeira

Revisão de texto
Alessandra Angelo

Normalização bibliográfica
Sônia Maria Sobral Cordeiro

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Anapaula Rosário Lopes

Foto da capa
Freepik.com

1ª edição
Publicação digital: PDF (2021)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Mandioca e Fruticultura

Almeida, Clóvis Oliveira de

Método matemático de indicadores de adoção de tecnologias agropecuárias / Clóvis Oliveira de Almeida – Cruz das Almas, BA : Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2021.

34 p. il; 21 cm. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/ Embrapa Mandioca e Fruticultura, ISSN 1809-5003, 126).

1. Agricultura 2. Tecnologia 3. Inovação I. Almeida, Clóvis Oliveira de.
II. Título. III. Série.

CDD 630

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução.....	7
Metodologia.....	8
Resultados e Discussão: um exemplo de aplicação	29
Considerações Finais.....	33
Referências	34

Método matemático de indicadores de adoção de tecnologias agropecuárias

Clóvis Oliveira de Almeida¹

Resumo – Este boletim de pesquisa traz a proposta de um método matemático para calcular os indicadores de adoção de novas tecnologias agropecuárias, especialmente recomendado em caso de ausência de séries históricas acerca do processo de adoção. A quase ausência desses dados constitui o principal obstáculo à realização de estudos de adoção de novas tecnologias no Brasil e, em especial, na Embrapa. O método proposto contribui ao tornar possível estudos dessa natureza a partir da coleta de um número mínimo de dados acerca do processo de adoção de novas tecnologias agropecuárias. O método é composto por um conjunto de indicadores de adoção, agrupados em quatro categorias principais: alcance, velocidade, aceleração e eficiência. A primeira versão do método foi publicada em 2014 pela Embrapa, na forma de boletim de pesquisa, número 59, com o título “Método exploratório de indicadores de adoção de variedades melhoradas”. Esta nova versão foi revisada, ampliada e atualizada e traz uma série de modificações de fórmulas e nomenclaturas, sem, contudo, alterar a estrutura básica do método. As principais mudanças consistem na inclusão das fórmulas do cálculo das distâncias máximas percorridas por meio dos métodos euclidiano e geodésico, a incorporação do indicador aceleração e a generalização das fórmulas para aplicação em qualquer tipo de inovação agropecuária, desde que a adoção possa ser mensurada por alguma unidade de medida, ao longo do tempo. Para facilitar a compreensão das fórmulas gerais, são apresentados exemplos para dois casos específicos: quando a adoção é mensurada por unidades territoriais e por unidade de área.

Palavras-chave: Metodologia. Tecnologia agropecuária. Índice de adoção. Inovação.

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA.

Agricultural technology adoption indicators: a mathematical approach

Abstract – In this research bulletin it is proposed an exploratory method to calculate the indicators of adoption of agricultural innovation, especially recommended in case of absence of historical data about the adoption process. The lack of data is the main obstacle to carry on adoption studies of new technologies in Brazil and at Embrapa. Therefore, the proposed method stands as a support to help such studies based on a minimum amount of data collected about the process of adoption of new technologies. The method is composed of a set of adoption indicators grouped into four main categories: range, speed, acceleration, and efficiency. The first version of the method was published in 2014 by Embrapa, in the form of a research bulletin, number 59, with the title “Exploratory method of adoption indicators for improved varieties”. This new version was revised, expanded, and updated and brought a series of modifications, without changing the basic structure of the method. The main changes consist of the inclusion of the formulas for calculating the maximum distances covered by the euclidean and geodetic methods, an incorporation of the acceleration indicator and the generalization of the formulas for application in any type of agricultural technology, since the adoption can be measured by unit measure over time. To facilitate the understanding of the general formulas, examples are presented for two specific cases: when the adoption is measured by territorial units and by area unit.

Keywords: Methodology. Agricultural technologies. Adoption rate. Innovation.

Introdução

A geração e a adoção de novas tecnologias são partes complementares e inseparáveis na avaliação de desempenho de qualquer programa de inovação tecnológica. Tecnologias não adotadas são contabilizadas como prejuízo social porque, diferentemente da pesquisa básica, os custos da geração só podem ser compensados com o processo de adoção. Na fase inicial do processo de adoção, a relação benefício/custo é, em geral, muito baixa ou antieconômica, uma vez que os custos de geração e de difusão da tecnologia não são imediatamente compensados pelo efeito escala de adoção.

O conjunto dos indicadores de adoção aqui propostos tem por objetivo responder a seis questões básicas:

- 1) Onde e em quantos municípios a tecnologia foi adotada.
- 2) Qual foi a distância máxima percorrida pela tecnologia.
- 3) Qual é a importância da nova tecnologia em relação às concorrentes.
- 4) Quais são as velocidades médias de adoção e de difusão da tecnologia.
- 5) Quais são as acelerações de adoção e de difusão da tecnologia.
- 6) Qual é a “eficiência” inicial do processo de difusão da tecnologia.

Foge ao propósito e ao alcance dos indicadores explicarem as razões dos acontecimentos. Em geral, os instrumentos de medidas não respondem como, nem os porquês dos acontecimentos; por conseguinte, não explicam, por si só, as causas, mas apenas captam os efeitos. As relações causais são explicadas pelo arcabouço teórico que devem guiar as investigações em nível de objeto.

Além da simplicidade e da praticidade da maior parte das fórmulas propostas para o cálculo dos indicadores¹, esses ainda podem ser utilizados em qualquer momento no tempo, bem como em anos iniciais de adoção e não necessitam de séries temporais de dados. A quase ausência desses dados constitui um dos maiores obstáculos à realização de trabalhos de avaliação de adoção de novas tecnologias agropecuárias no Brasil e, em especial, na Embrapa. Assim sendo, o desafio é extrair e multiplicar o número de informações contidas em um conjunto limitado de dados, que podem ser

¹ As fórmulas para o cálculo das distâncias necessitam de conhecimentos básicos de trigonometria plana e esférica; enquanto as fórmulas de velocidade e aceleração, de cinemática.

coletados em fontes oficiais ou em campo, sobre o processo de adoção de novas tecnologias.

Em virtude da especificidade das pesquisas agropecuárias, em geral, as tecnologias apresentam viés de espécie vegetal ou animal, que passaremos a chamar, por simplificação, de viés de produto. Em decorrência desse viés de produto, as fórmulas são apresentadas para esse caso mais geral, embora existam exceções, ou seja, tecnologias que são geradas sem esse tipo de viés, e, em virtude disso, podem ser destinadas a vários produtos. Sempre que possível, fez-se a opção pela elaboração ou escolhas de fórmulas simples e de fácil aplicação, mas que, ao mesmo tempo, pudesse atender ao propósito para o qual foram geradas.

Metodologia

A aplicação do método necessita do seguinte conhecimento prévio:

- 1) O ano de lançamento e o ano de início de adoção da tecnologia.
- 2) Definição das unidades territoriais e do espaço de adoção.
- 3) Dados sobre a adoção nas unidades territoriais, em pelo menos um dado momento no tempo.
- 4) Coordenadas geográficas dos locais (unidades territoriais) de origem e de destino da nova tecnologia.

A unidade territorial pode ser entendida com um subconjunto do espaço de adoção, ou seja, a unidade territorial está contida no espaço de adoção. Os elementos seriam os diferentes tipos de espécies vegetais ou animais, aqui denominados de produtos-alvo, com potencial de uso da tecnologia e que podem ser encontrados no espaço de adoção. Assim definidos, as unidades territoriais com adoção da tecnologia seriam um subconjunto das unidades territoriais com o produto-alvo.

Em um diagrama de Venn, também conhecido com diagrama de Venn-Euler², este conjunto seria representado por um conjunto universo (U), o

² Curiosidades matemáticas: John Venn, matemático e reverendo inglês, popularizou o uso do diagrama que hoje é mais conhecido como diagrama de Venn, em sua homenagem, mas antes dele o matemático e filósofo alemão, Gottfried Leibniz, e o matemático e físico suíço, Leonhard Euler, já haviam utilizado diagramas do mesmo tipo (VERMA, 2016; CRILLY, 2017).

espaço de adoção; e outros dois conjuntos: unidades territoriais com o produto-alvo da tecnologia (o conjunto B), um subconjunto de U; e unidades territoriais com o produto-alvo e com adoção (o conjunto A), um subconjunto de B (Figura 1). Assim, todo elemento pertence ao conjunto universo e todo conjunto está nele contido.

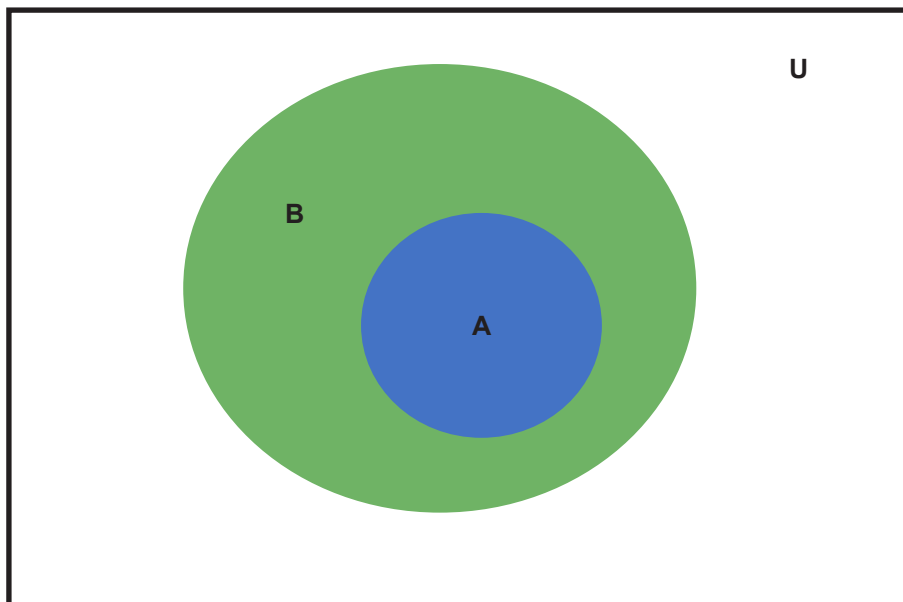


Figura 1. Ilustração do diagrama de Venn para os conjuntos do espaço de adoção de tecnologias.

As fórmulas propostas podem ser empregadas considerando a escala de adoção em diferentes níveis territoriais. Para tanto, deve-se tomar o espaço de adoção compatível com a unidade territorial de interesse, seja município, microrregião, mesorregião, estado, grande região ou mesmo país. Isto é, se a unidade territorial for o município, o espaço de adoção pode ser representado por qualquer um dos níveis territoriais em posição imediatamente superior. A ideia subjacente é a de que qualquer subconjunto de um conjunto finito é sempre menor do que o conjunto original. Cantor, matemático alemão nascido no império russo, ao desenvolver o conceito de números transfinitos, reconheceu a possibilidade de diferentes tamanhos de infinidade, tornando possível também a hierarquização de conjuntos infinitos (ROONEY, 2012; CRILLY, 2017).

De posse desses conhecimentos básicos, calculam-se os indicadores de adoção, aqui classificados em quatro tipos principais: alcance, velocidade, aceleração e eficiência. Os indicadores de alcance são a distância máxima percorrida (DM), a abrangência (A) e a influência (I); enquanto os indicadores do tipo velocidade são o tempo gasto para adoção (TGA), a velocidade de partida (VP_0), a velocidade média de adoção (VMA) e a velocidade média de difusão (VMD). Os indicadores de aceleração são a aceleração média de adoção (a_a) e a aceleração média de difusão (a_d), calculados a partir das velocidades em dois momentos diferentes no tempo. O indicador perda de “eficiência” inicial de difusão (PED) é obtido por diferença entre os indicadores de velocidade de adoção e de difusão.

Os indicadores de alcance são pontuais e refletem a situação da adoção em um determinado momento no tempo, ou seja, a situação no momento “t”, mas não fornecem uma ideia de evolução do processo de adoção. A velocidade de partida é calculada para um período fixo no tempo, que é determinado pelo tempo gasto para a primeira adoção, enquanto as velocidades médias são calculadas para qualquer período não nulo, tendo como ponto de partida o ano de lançamento ou o ano da primeira adoção da tecnologia.

O indicador aceleração mostra a taxa de variação da velocidade de adoção e de difusão por período. Em resumo, a velocidade indica mudança de posição, deslocamento, espaço percorrido; a aceleração indica mudança de velocidade. Assim, uma tecnologia pode apresentar alta velocidade de adoção ou de difusão, mas, ao mesmo tempo, baixa aceleração. Ou o contrário, baixa velocidade de adoção e de difusão, mas elevada aceleração. Portanto, esses dois indicadores são complementares e indispensáveis na análise de evolução do processo de adoção e de difusão de novas tecnologias.

Os indicadores propostos podem ser aplicados a qualquer tipo de tecnologia agropecuária, desde que a adoção possa ser mensurada por alguma unidade de medida, ao longo do tempo. A título de exemplo e com o propósito de facilitar a compreensão das fórmulas gerais, são apresentados exemplos de indicadores para duas situações usuais: quando a adoção é mensurada por unidades territoriais e por unidade de área. A seguir são apresentadas as fórmulas básicas do método:

1. Indicador de adoção do tipo alcance

Este indicador pode ser de três subtipos: distância máxima percorrida (DM), que indica, como o próprio nome sugere, o local mais distante que a tecnologia alcançou; abrangência (A), que responde em quantos locais a tecnologia chegou; e influência (I), que dá uma noção da importância ou relevância de uso da tecnologia.

Distância máxima percorrida (DM)

DM = distância, em quilômetros, entre o local do centro de pesquisa que gerou a tecnologia, adaptou ou introduziu (ponto de origem), e o local mais distante de adoção (ponto de destino), no ano “t”.

Segundo este indicador, quanto maior a distância percorrida, maior terá sido o alcance da tecnologia. O tempo decorrido para a adoção de novas tecnologias é afetado por vários fatores, sendo um deles a distância do ponto de origem ao ponto de destino.

A distância entre dois pontos na superfície terrestre pode ser aferida por meio da distância linear (também conhecida como euclidiana, que utiliza a versão plana para o formato da Terra) ou, preferencialmente, pelo método geodésico³ (que adota a versão esférica ou a versão elipsoidal como formatos de referência da Terra). Como a Terra não é plana, mas aproximadamente esférica, a distância geodésica é mais acurada que a linear para longas distâncias ou para pontos situados mais próximos aos polos, uma vez que considera a curvatura da Terra. Em virtude dessa mesma curvatura, por impossibilidade prática, a reta, ou melhor, o segmento de reta cede lugar a uma curva ou, mais precisamente, um arco de círculo máximo como a medida mais curta da distância entre dois pontos (Figura 2). Dissemos por impossibilidade prática, porque do ponto de vista teórico o segmento de reta continua sendo a

³ Do ponto de vista prático, geodésica pode ser entendida como “a curva de menor comprimento que une dois pontos. Ou seja, é a curva contida na superfície esférica, que minimiza a distância entre dois pontos. Também definida como o comprimento do menor arco de circunferência máxima que passa por dois pontos”. Segundo Alves (2004, p. 4), “a circunferência máxima da superfície esférica é definida como a intersecção da superfície esférica com um plano passando pelo seu centro...as circunferências máximas são as circunferências de maior raio contidas na superfície esférica”. O autor cita o equador, no globo terrestre, como um exemplo de circunferência máxima, enquanto os demais paralelos não o seriam. Todos os meridianos, por sua vez, são exemplos de circunferências máximas. Ainda de acordo com Alves (2004, p. 38), “quanto maior o raio de uma circunferência, mais ela se aproxima de ser uma reta”.

distância mais curta entre dois pontos, como bem enfatizado por Alves (2004, p. 38): “sobre uma superfície esférica [...] não existe um segmento de linha reta uma vez que ela é curvada em todas as direções”. Portanto, por mero erro de procedimento de cálculo, ou inadequação de fórmula, as distâncias entre dois pontos na superfície da Terra calculadas pelo método euclidiano podem ser maiores que aquelas calculadas por métodos geodésicos.

Para pequenas distâncias entre dois pontos na superfície terrestre, a distância euclidiana é satisfatória porque a linha que une os dois pontos é quase uma reta⁴. Ademais, a precisão exigida, depende do propósito para o qual as distâncias são calculadas, ou seja, a precisão deve estar na medida da necessidade. No caso em particular, a depender da posição e da distância entre os dois pontos, as limitações inerentes ao método não constituiriam um sério problema, uma vez que a precisão não se faz necessária em níveis tão altos, porque o que se deseja medir é a distância entre a sede da unidade territorial que gerou a tecnologia e a sede, mais distante, da unidade territorial de adoção. Em geral, a menor escala tomada como unidade territorial é o município.

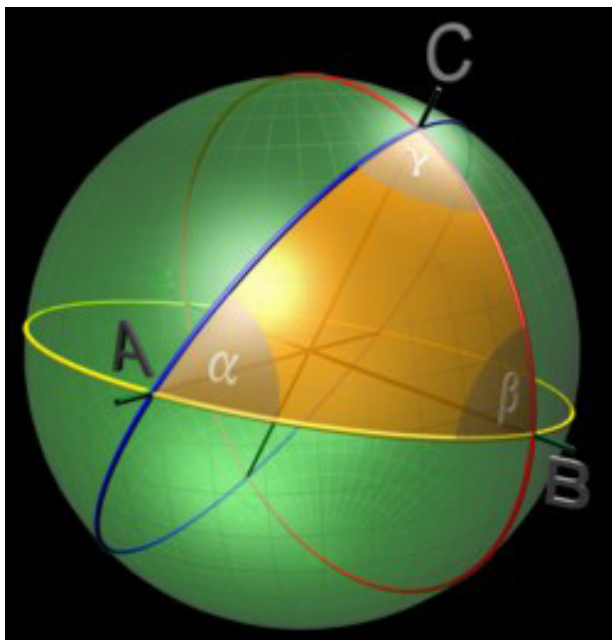


Figura 2. Círculos máximos na esfera, arcos de círculos máximos e distâncias mais curtas entre dois pontos.

Fonte: Wikipedia (2021).

⁴ Alguns autores citam como limite a distância máxima de 20 km.

Qualquer que seja o método utilizado, a distância máxima percorrida deve ser aferida por meio de um indicador de distância mínima entre dois pontos. A ideia subjacente é a de que, mantendo tudo o mais constante, quanto mais distante do local de origem, maior também será o tempo gasto para o alcance da tecnologia, embora isso nem sempre seja verdadeiro.

Nas fórmulas que seguem, entenda-se por raiz a raiz quadrada de um número. No método euclidiana, a distância é concebida como a hipotenusa de um triângulo retângulo (Figura 3), sendo calculada com o uso do clássico teorema de Pitágoras⁵, aplicado a um sistema de coordenadas no plano cartesiano⁶.

Tomando dois pontos quaisquer A e B (Figura 3) no plano cartesiano (X, Y), a distância (d_{AB} , que é a hipotenusa) entre esses pontos A (x_a , y_a) e B (x_b , y_b) é calculada da seguinte forma:

$$d_{AB} = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2}$$

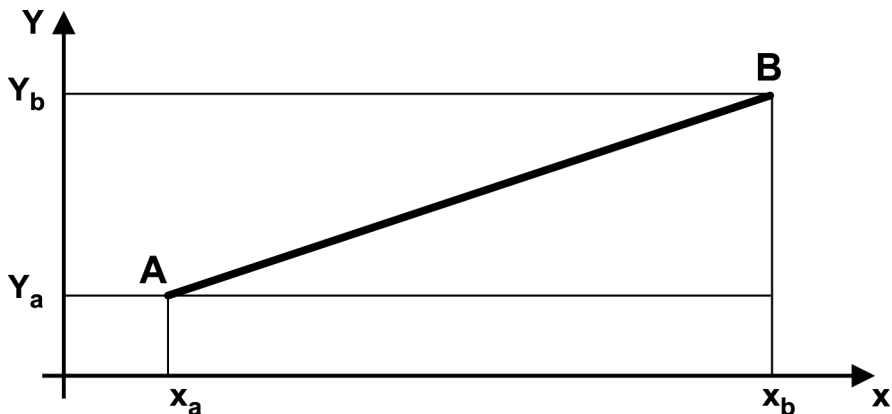


Figura 3. Distância linear (A-B) entre dois pontos no plano cartesiano.

Fonte: Elaboração própria.

⁵ Curiosidades matemáticas: No Livro I, "Os Elementos", proposição 47, de Euclides de Alexandria, pode-se encontrar um dos registros mais antigos do Teorema de Pitágoras, não em forma numérica, mas em palavras e em forma geométrica: "em todo o triângulo retângulo o quadrado feito sobre o lado oposto ao ângulo reto é igual aos quadrados formados sobre os outros lados, que fazem o mesmo ângulo reto" (ver Berlinski, 2018, p. 69-75). Mais recentemente, foram encontradas evidências, em uma placa arqueológica babilônica de 3,7 mil anos, do registro geométrico mais antigo deste teorema, que data de aproximadamente 1000 anos antes do nascimento de seu descobridor, Pitágoras. Informações sobre essa descoberta estão disponíveis em: www.livescience.com/earliest-form-of-pythagorean-triplet).

⁶ No trabalho de Ivis (2006), o leitor pode encontrar a rotina, em SAS, para vários métodos de cálculo da distância geográfica entre dois pontos.

As distâncias lineares são calculadas com as coordenadas cartesianas. Em virtude disso, há necessidade de converter as coordenadas esféricas (geográficas) em cartesianas⁷ (milhas, quilômetros ou metros), antes de aplicar a fórmula. Portanto, as distâncias estarão nas mesmas unidades das coordenadas cartesianas. Quando utilizada para calcular distâncias entre dois pontos em uma superfície não plana, a exemplo da Terra, a simples transformação das coordenadas esféricas em lineares, que é uma necessidade de adequação à fórmula, não elimina os erros de cálculo se os pontos estão próximos aos polos ou a longas distâncias um do outro, pois nesses casos a curvatura na superfície da Terra será ainda maior.

A distância geodésica, por sua vez, pode ser calculada por inúmeros métodos, sendo um dos mais utilizados o que toma por base a lei geral dos cossenos para trigonometria esférica, que após algumas transformações e simplificação, chega-se à seguinte fórmula⁸ (CHAMBERLAIN, 1996; IVIS, 2006):

$$c = \arccos(\sin(\text{lat}1) * \sin(\text{lat}2) + \cos(\text{lat}1) * \cos(\text{lat}2) * \cos(\text{lon}2 - \text{lon}1))$$

Sendo:

$$a = \sin(\text{lat}1) * \sin(\text{lat}2)$$

$$b = \cos(\text{lat}1) * \cos(\text{lat}2) * \cos(\text{lon}2 - \text{lon}1)$$

$$c = \arccos(a + b)$$

$$d = R * c$$

com as latitudes (lat) e as longitudes (lon) expressas em radianos⁹.

Portanto, as coordenadas esféricas (geográficas) expressas em sistema sexagesimais (graus, minutos e segundos), devem ser

⁷ Para transformar coordenadas do sistema sexagesimais (graus, minutos e segundos) em cartesianas, primeiro as transforme em graus decimais (lembrando que 1 grau tem 60 minutos e cada minuto tem 60 segundos) e depois multiplique por 60 (o resultado estará em milhas náuticas; como cada milha náutica tem, aproximadamente, 1.852 metros, basta multiplicar por esse valor para converter o resultado em metros).

⁸ As notações das funções trigonométricas em todas as fórmulas são as da língua portuguesa. As devidas alterações de notação devem ser feitas ao se utilizar programas computacionais ou aplicativos em outros idiomas.

⁹ Um radiano (ou, simplesmente, rad) é a medida de um arco cujo comprimento é igual ao raio.

transformadas em graus decimais e, posteriormente, em radianos¹⁰, antes do uso da fórmula.

Como o resultado em (c) fornece a medida do arco em radianos que une os dois pontos, deve-se multiplicar o valor encontrado pelo raio da superfície esférica (R) para transformá-lo em distância linear (d). Ou seja, no comprimento do arco ou do segmento de circunferência da superfície esférica. No caso das distâncias terrestres, R é o raio médio da Terra (que pode ser tomado, por exemplo, como sendo igual a 6.367 km, ou 6.371 km). A distância será expressa na mesma unidade de R , o raio. Em resumo: conhecendo-se as coordenadas geográficas de dois pontos na superfície da Terra, calcula-se o arco em radianos e depois multiplica-se o resultado pelo raio médio da Terra para se chegar à correspondente distância linear entre esses pontos.

Ao contrário dos resultados das fórmulas baseadas no modelo de Terra plana, o cálculo de distância esférica com a fórmula geral da lei dos cossenos esféricos não é recomendado para pequenas distâncias entre dois pontos na superfície da Terra. Nesses casos, o cosseno inverso, dado em c , é mal condicionado, ou seja, é muito sensível a erros de arredondamento¹¹ (CHAMBERLAIN, 1996).

A alternativa para calcular a distância entre dois pontos na superfície terrestre, que também considera a esfera como o modelo de referência, é a fórmula haversine¹². As versões das fórmulas haversine estão alicerçadas em Chamberlain (1996), que, por sua vez, baseou-se, originalmente, nas fórmulas apresentadas por Sinnott (1984).

A fórmula haversine foi elaborada com base na lei geral dos cossenos para trigonometria esférica, mas com a vantagem de apresentar maior precisão por ser menos sensível a erros de arredondamento quando

¹⁰ Para converter coordenadas expressas em graus decimais para radianos, basta multiplicar por $\pi/180$. O valor de π aproximado é 3,1415927.

¹¹ Com o uso dessa fórmula, um computador que trabalhasse com sete casas decimais significativas não conseguiria distinguir entre os cossenos de quaisquer distâncias menores do que 1 minuto de arco (SINNOTT, 1984 *apud* CHAMBERLAIN, 1996), ou seja, distâncias menores do que 1 milha náutica (que corresponde a, aproximadamente, 1.852 metros).

¹² A palavra haversine vem da função trigonometria versine, atualmente pouco conhecida, mas no passado foi muito empregada em navegação. O haversine, ou simplesmente hav, é igual à metade da versine.

se calcula pequenas distâncias entre dois pontos na superfície da Terra. A fórmula é dada por:

$$a = (\text{sen}(\text{dlat}/2))^2 + \cos(\text{lat1}) * \cos(\text{lat2}) * (\text{sen}(\text{dlon}/2))^2$$

$$c = 2 * \text{arcsen}(\text{min}(1, \text{raiz}(a)))$$

$$d = R * c$$

$$\text{dlat} = \text{latitude2} - \text{latitude1}$$

$$\text{dlon} = \text{longitude2} - \text{longitude1}$$

com as latitudes e longitudes expressas em radianos, e **d** na mesma unidade de **R**.

Na fórmula acima, a função **arcsen** é uma função inversa que retorna um ângulo cujo seno seja igual ao menor valor da raiz quadrada de **a**, que não exceda 1. Ou seja, deve-se assegurar que a raiz de **a** não seja maior do que 1. A blindagem dada por (min (1)), restringe a validade da fórmula a esta condição, confirma o mesmo autor. Se **a** = 1, **c** = pi radianos = 180 graus (metade da circunferência), e **d** (a distância linear entre os pontos) = pi * **R**, com pi tomado em valor aproximado igual a 3,14159265 (CHAMBERLAIN, 1996).

Embora a fórmula haversine seja mais indicada do que a fórmula do Teorema de Pitágoras e a fórmula da lei geral dos cossenos esféricos, para calcular distâncias entre dois pontos na superfície terrestre, ela é mal condicionada, quando os dois pontos estão situados em lados opostos da Terra (os chamados pontos antipodais, ou seja, diametralmente opostos (Figura 4)), embora seja um erro menor, afirma Chamberlain (1996). Isso acontece porque a fórmula haversine é muito sensível a erros de arredondamento que podem ocorrer ao medir distâncias entre pontos diametralmente opostos¹³. Tais erros aumentariam a possibilidade de o valor de (raiz(a)) exceda 1,0, o que faria com que o seno inverso rompesse a blindagem dada por “min ()”, na fórmula haversine (CHAMBERLAIN, 1996).

¹³ Pontos diametralmente opostos (antipodais) dão resultados em “raiz(a)” no limite da blindagem dada por (min(1)), por isso, nesses casos, a fórmula é muito sensível a erros de arredondamento. Para evitar esse tipo de erro, recomenda-se que o número de dígitos significativos seja superior a 8.

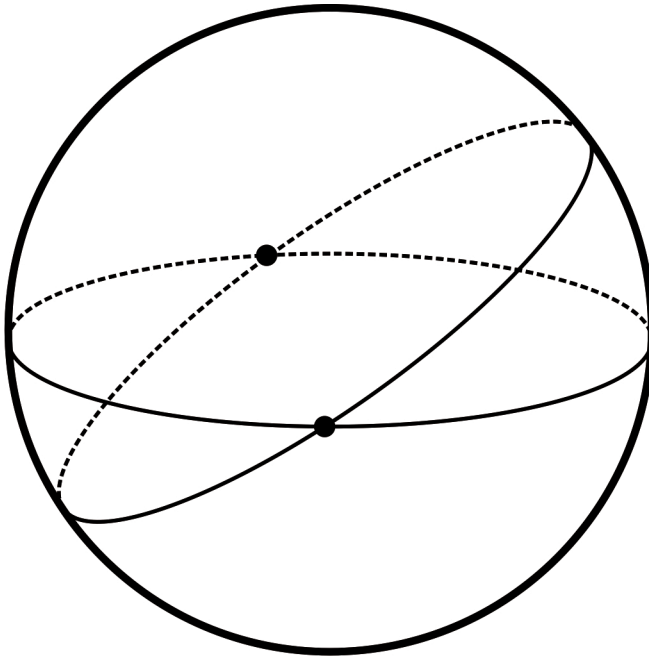


Figura 4. Círculos máximos na esfera e pontos antipodais.

Fonte: Piccione (s.d).

Uma segunda versão da fórmula haversine é expressa em termos de dois argumentos da função tangente inversa, $\arctg_2(x,y)$ ou $\arctan_2(x,y)$, com a vantagem de “dispensar” a blindagem da fórmula¹⁴:

$$a = (\text{sen}(dlat/2))^2 + \cos(lat1) * \cos(lat2) * (\text{sen}(dlon/2))^2$$

$$c = 2 * \arctg_2(\text{raiz}(a), \text{raiz}(1-a))$$

$$d = R * c$$

$$dlat = \text{latitude2} - \text{latitude1}$$

$$dlon = \text{longitude2} - \text{longitude1}$$

¹⁴ Alerta: A versão de 64 bits do Excel apresenta erro de código nessa fórmula, retornando resultados errados. O problema pode ser resolvido invertendo-se a posição dos argumentos “a” e “1-a” na fórmula c. A fórmula c, nesta última versão haversine apresentada no texto, poderia ser expressa como $c = 2 * \arctg_2(\text{raiz}(a)/\text{raiz}(1-a))$, desde que $a < 1$, para excluir a divisão por zero (CHAMBERLAIN, 1996). Isso também resolveria o prolema. Mas, com o cuidado de observar que: se $a = 1$, $c = \text{pi}$ radianos = 180 graus, e d estará a meio caminho da Terra, ou seja, $d = 3,14159265 \dots * R$. No Excel, a notação para \arctg_2 é atan2 .

Quando utilizadas para calcular a distância entre dois pontos na superfície da Terra, a distância dada pelas fórmulas dos cossenos para trigonometria esférica e haversine também é uma aproximação, uma vez que a Terra não é perfeitamente esférica, mas aproximadamente uma esferoide achatada (também conhecida como elipsoide). O achatamento nos polos torna o raio em direção aos polos menor do que o raio em direção ao equador, razão pela qual a curvatura em direção aos polos é maior do que a curvatura em direção ao equador.

De maneira geral, as duas fórmulas (cossenos esféricos e haversine) atendem ao propósito deste trabalho, uma vez que não há necessidade de alta precisão na localização de unidades territoriais de adoção de tecnologias¹⁵. Nesse caso em particular, os pontos de interesse são as unidades territoriais, que delimitam uma área, não um ponto no sentido estrito da palavra. Assim sendo, os erros podem ser ignorados porque estarão dentro de uma margem aceitável.

A distância geodésica também pode ser calculada usando o modelo elipsoidal como representação de referência da superfície da Terra. Como mencionado anteriormente, o modelo esférico, ao considerar a Terra uma esfera, despreza o achatamento nos polos. Apesar dessa limitação, trata-se de um modelo adequado para a maioria dos propósitos (CHAMBERLAIN, 1996), além da vantagem de tornar mais simples os cálculos das distâncias geodésicas¹⁶.

Abrangência (A)

É um indicador expresso em termos absolutos (números absolutos)

$$A = n_t$$

sendo n_t , o número total de unidades territoriais no espaço de adoção com a nova tecnologia ou inovação, no ano t.

¹⁵ Quando se utiliza um número adequado de casas decimais nos cálculos, evitam-se erros provenientes de arredondamento e melhor será a precisão em ambas as fórmulas, que, em geral, darão resultados muito próximos ou equivalentes. Esse número fica em torno de 15 algarismos significativos.

¹⁶ O modelo elipsoidal considera uma variedade de elipsoides com parâmetros ligeiramente diferentes ajustados à Terra; o elipsoide apropriado pode depender da região de interesse (CHAMBERLAIN, 1996). O elipsoide de revolução é uma das formas mais utilizadas.

Influência (I)

É um indicador expresso em forma de razão (fração), ou em números relativos, quando expresso em percentagem. Ele fornece a proporção da população adotante no momento t : a taxa de adoção. Ou seja, esse indicador capta a proporção acumulada da população adotante da tecnologia em um determinado tempo: um ponto sobre a curva S de adoção (Figura 5).

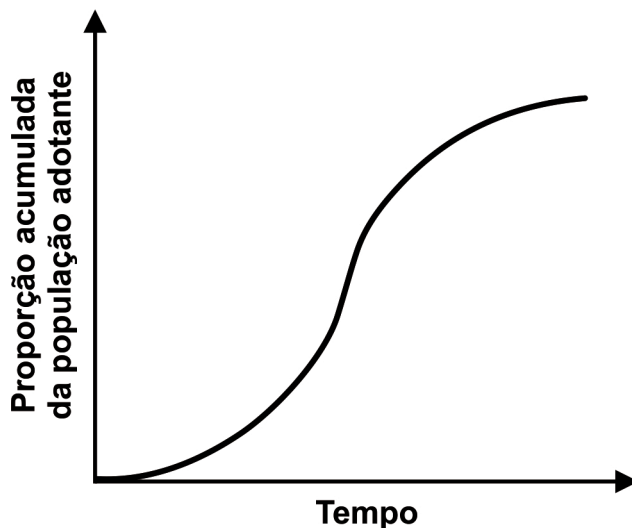


Figura 5. Curva S: Curva de adoção de novas tecnologias.

Fonte: Elaboração própria.

- Fórmula geral:
 - Influência (I), expressa em percentagem.

$$I = (q_t/Q_t) * 100$$

com:

q_t = quantidade em uso da tecnologia, no ano t , em unidades de medida da adoção.

Q_t = quantidade total, no espaço de adoção, com o produto-alvo da tecnologia, no ano t .

- Fórmulas específicas:

- Influência em unidades territoriais (I)

$$I = (n_t/N_t) * 100$$

sendo:

n_t = número total de unidades territoriais no espaço de adoção, com a tecnologia, no ano t

N_t = número total de unidades territoriais no espaço de adoção com o produto-alvo da tecnologia, no ano t.

- Influência em área (I)

$$I = (A_{at}/A_t) * 100$$

com:

A_{at} = área total com a tecnologia, em hectare, no espaço de adoção, no ano t.

A_t = área total, em hectare, no espaço de adoção com o produto-alvo da tecnologia, no ano t.

2. Indicador de adoção do tipo “velocidade”

Tempo gasto para adoção (TGA)

$$TGA = (a_a - a_l)$$

a_a = ano de adoção

a_l = ano de lançamento

O tempo mínimo (expresso em anos) gasto para adoção é igual a zero e ocorre quando a adoção acontece no mesmo ano de lançamento da tecnologia. É claro que o tempo gasto para adoção depende de inúmeras variáveis, a exemplo da distância entre o ponto de origem e o ponto de destino da tecnologia, assim como da categoria do adotante: inovador, visionário, pragmático, conservador ou cético. Entre os

visionários e os pragmáticos, que é a transição para a decolagem da tecnologia, existe uma fase que os especialistas chamam de abismo, na qual grande parte das tecnologias sucumbem. O tempo gasto para adoção deve ser considerado como o tempo decorrido para a primeira adoção na unidade territorial.

Velocidade de partida (VP_0)

$$VP_0 = 1/[1+(TGA)]$$

Nessa fórmula, TGA é definido como anteriormente, ou seja, é o período, expresso em anos, entre o lançamento e a adoção da tecnologia. Assim sendo, a velocidade de partida de adoção (VP_0) é inversamente relacionada com o tempo decorrido entre o lançamento e a adoção da tecnologia. Isto é, quanto maior o lapso temporal entre o lançamento e a adoção, menor será a velocidade de partida. Enquanto a proporção da população adotante, captada pelo indicador influência, tende a crescer com o passar do tempo até atingir um ponto de máximo (seguindo o padrão da curva S); a velocidade de partida decresce assintoticamente com o tempo, convergindo para zero, apresentando, portanto, um padrão de decaimento.

Na fórmula de velocidade de partida, o espaço é sempre igual a 1. Essa simplificação decorre de uma conveniente ideia e condição: basta que uma unidade produtiva passe a utilizar a tecnologia para que esta seja considerada adotada. Alternativamente, o numerador poderia ser operacionalizado com uma variável “z” tipo binária, na qual a ausência da adoção seria representada com o número zero; enquanto a presença, com o número 1, independentemente do tamanho (número ou área) da unidade produtiva de adoção.

A velocidade máxima calculada pelo indicador velocidade de partida (VP_0) é igual a 1 e ocorre quando a adoção acontece no mesmo ano de lançamento da tecnologia ($TGA = 0$). A velocidade mínima tende para zero à medida que o ano de adoção se distancia do ano de lançamento (Figura 6).

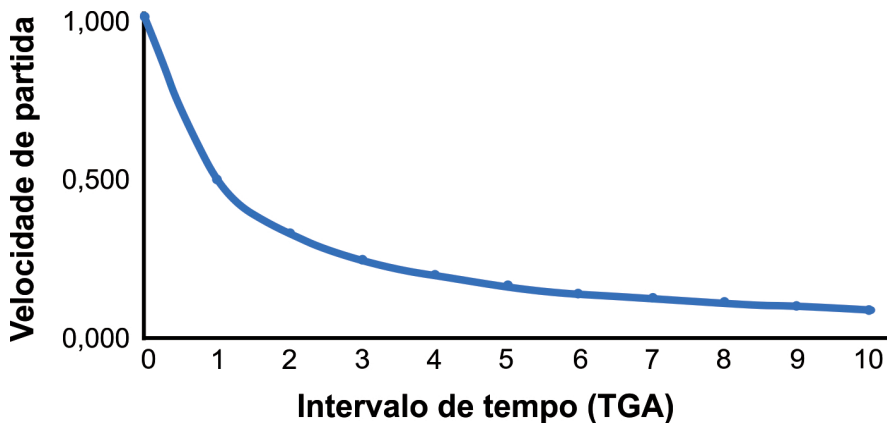


Figura 6. Velocidade de partida, para intervalos de tempo entre o lançamento e a adoção da tecnologia variando de 0 a 10 anos.

Fonte: Elaboração própria.

Velocidade média

Os indicadores do tipo velocidade apresentados nesta seção refletem uma média, uma vez que a velocidade não é a mesma em cada instante no tempo e em todas as categorias de adotantes. Em todas as fórmulas de velocidade média, a adoção no marco inicial (posição inicial ou marco zero) foi considerada igual a zero. Essa suposição não constitui uma grande limitação, uma vez que, em geral, a adoção no início do processo, que corresponde ao ano de lançamento ou ao ano da primeira adoção da tecnologia, é mesmo igual a zero ou inexpressiva, respectivamente, assim como aparece nas ilustrações da curva S de adoção e da curva de ciclo de vida de um produto no mercado (ver Figuras 5 e 7). Nessa fase, a adoção limita-se a um pequeno número de adotantes, os ditos inovadores. A rigor, os indicadores do tipo velocidade média são taxas de variação média (ou taxas de crescimento absoluto), quando o valor inicial da variável de interesse é igual a zero¹⁷, mas podem ser tomados ou pensados como um indicador de velocidade média, assim como a velocidade média também pode ser pensada como um exemplo de taxa de variação média¹⁸.

¹⁷ Para fazer a comparação entre diferentes tecnologias, quando a adoção no ponto inicial é diferente de zero, torna-se necessário calcular, para cada tecnologia, a Taxa de variação média relativa ou Taxa de Crescimento Relativa (TCR), que é dada por: $TCR = [(qf - qi) / qi] / (tf - ti)$.

¹⁸ Outro indicador de velocidade média poderia ainda ser calculado, tomando a Distância Máxima Percorrida (DM) como ΔS (o espaço percorrido).

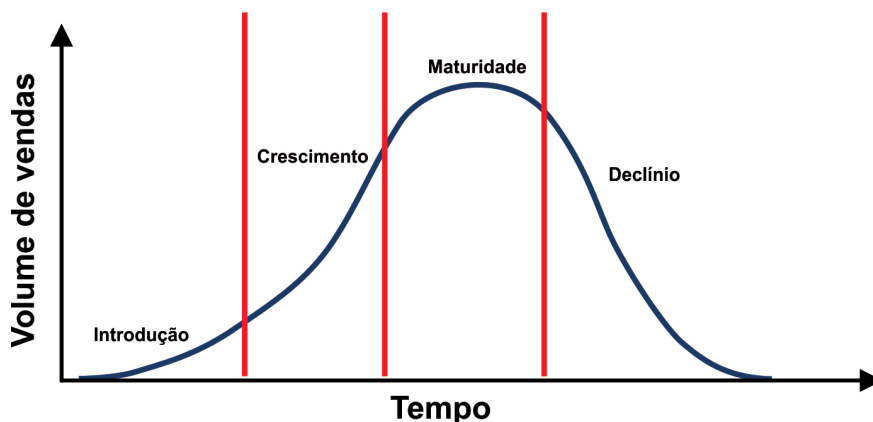


Figura 7. Curva de ciclo de vida de um produto no mercado.

Fonte: Elaboração própria.

Velocidade média de adoção (VMA)

É uma medida de velocidade em um período decorrido entre o ano de início da adoção e o ano t . O indicador toma por base o ano da primeira adoção nas unidades territoriais do espaço de adoção. Este indicador está diretamente relacionado à demanda de adoção de tecnologia.

- Fórmula geral:

$$VMA = q_t / (a_t - a_a)$$

com VMA expresso em quantidade em uso da tecnologia/ano, sendo:

q_t = quantidade em uso da tecnologia, no ano t , em unidades de medida da adoção.

a_t = ano t .

a_a = ano de adoção da tecnologia

- Fórmulas específicas:

Velocidade média de adoção em unidades territoriais (VMA)

$$VMA = n_t / (a_t - a_a)$$

com VMA expresso em número de unidades territoriais/ano, sendo:

n_t = número de unidades territoriais com a tecnologia, no ano t .

a_t e a_a como definidos anteriormente.

- Velocidade média de adoção em área

$$VMA = A_{at}/(a_t - a_a)$$

com VMA expresso em número de hectares/ano, sendo:

A_{at} = área total com a tecnologia, em hectare, no espaço de adoção, no ano t.

a_t e a_a como definidos anteriormente.

Por simplificação, esse indicador também toma como base o ano da primeira adoção da tecnologia no espaço de adoção. Em se conhecendo o ano de início da adoção por unidade territorial, a velocidade média pode ser calculada a partir da média aritmética das velocidades médias nas diferentes unidades territoriais.

A velocidade média de adoção, em unidades territoriais, converge para zero quando o número de unidades territoriais com a tecnologia tende para 1 e o ano de avaliação (ano t) afasta-se do ano inicial de adoção da tecnologia. A velocidade média de adoção, medida em área, converge para zero quando a área de adoção tende para zero e o ano de avaliação se afasta do ano inicial de adoção.

Velocidade média de difusão (VMD)

Uma vez que o processo de difusão começa com o lançamento da tecnologia, o ano de referência (ou ponto de partida) do indicador de velocidade de difusão (VMD) é o ano de lançamento. Nesse caso, a difusão pode ser entendida também como o processo pelo qual uma tecnologia é comunicada no espaço e no tempo aos membros da cadeia produtiva. Portanto, a velocidade de difusão também pode ser entendida como uma medida de “eficiência” do processo de difusão da empresa. Esse indicador está mais diretamente relacionado aos aspectos de oferta de difusão de tecnologias.

- Fórmula geral:

$$VMD = q_t/(a_t - a_l)$$

com q_t e a_t definidos como anteriormente, e a_l sendo igual ao ano de lançamento da tecnologia.

- Fórmulas específicas:

Velocidade média de difusão em unidades territoriais (VMD)

$$VMD = n_t / (a_t - a_l)$$

com VMD expresso em número de unidades territoriais/ano, sendo:

n_t = número de unidades territoriais com a tecnologia, no ano t.

a_t = ano t.

a_l = ano de lançamento.

- Velocidade média de difusão em área

$$VMD = A_{at} / (a_t - a_l)$$

com VMD expresso em número de hectares/ano, sendo:

A_{at} = área total de adoção, no t.

a_t e a_l como definidos anteriormente.

3. Indicador de adoção do tipo aceleração (a)

Em física, a aceleração é definida como “a variação temporal da velocidade para intervalos de tempo não nulos”. A fórmula para calcular a aceleração média é dada por:

$$a = \Delta V / \Delta t$$

$$a = (V_f - V_i) / (t_f - t_i)$$

na qual:

a = aceleração média

ΔV = variação de velocidade

V_f = velocidade final

V_i = velocidade inicial

Δt = variação de tempo

t_f = tempo final

t_i = tempo inicial

A aceleração é expressa na mesma unidade básica da velocidade, com a unidade de tempo tomada ao quadrado. Por exemplo, uma aceleração igual a 226 ha/ano² significa que a cada ano a velocidade aumenta 226 ha/ano. Com base na aceleração, o movimento da nova tecnologia em um determinado espaço de adoção poderia ser classificado em três tipos principais, utilizando a mesma classificação da física para um corpo em movimento¹⁹, supostamente progressivo:

- a é constante, o movimento da tecnologia no espaço de adoção é dito uniformemente variado. Se a velocidade aumenta de forma constante por unidade de tempo, o movimento é uniformemente acelerado, caso a velocidade diminua de forma constante, o movimento é denominado uniformemente retardado;
- a > 0, o movimento da tecnologia no espaço de adoção é acelerado. A velocidade aumenta por unidade de tempo;
- a < 0, o movimento da tecnologia no espaço de adoção é retardado. A velocidade diminui por unidade de tempo;
- a = 0, o movimento da tecnologia no espaço de adoção é uniforme. Não há aceleração, a velocidade é constante e, portanto, a aceleração é nula.

Por simplificação, e por razões inerentes ao método proposto, fez-se a suposição de que o movimento da tecnologia no espaço de adoção é do tipo uniformemente variado. Assim sendo, a aceleração e a velocidade final podem ser calculadas com as fórmulas da função horária da posição e da função horária da velocidade, ou alternativamente com a equação de Torricelli:

- Função horária da posição:

$$\Delta S = V_i * t + 0,5 * a * t^2$$

- Função horária da velocidade:

$$V_f = V_i + a * t$$

¹⁹ Na física, tanto a velocidade quanto a aceleração são calculadas para um corpo em movimento. No contexto aqui utilizado, é claro que o “corpo” em movimento, no sentido físico, não é o mesmo, embora o seja do ponto de vista tecnológico.

- Equação de Torricelli:

$$V_f^2 = V_i^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S$$

Nas quais:

ΔS = variação de espaço ou posição.

V_i = velocidade inicial

V_f = velocidade final

t = tempo decorrido

a = aceleração média

Ainda em analogia à física, no contexto aqui empregado, o movimento é supostamente progressivo por tratar-se de uma nova tecnologia ou inovação: os “espaços” ou as “posições” conquistadas (em área, número de municípios, por exemplo), que medem a adoção, crescem com o tempo no sentido da trajetória de adoção de novas tecnologias, até um certo limite: o ponto de máximo ao longo da curva S da adoção e da curva de ciclo de vida de um produto no mercado (Figuras 5 e 7).

Nesse ponto, a tecnologia alcança a maturidade, e a adoção se estabiliza. Depois desse limite, a adoção da tecnologia entra em declínio e o movimento passa a ser retrógrado, seguindo o padrão da última fase da curva de ciclo de vida de um produto no mercado (Figura 7). Ou seja, a adoção começa a diminuir com o tempo, indo no sentido oposto da trajetória de adoção de novas tecnologias, e a velocidade, teoricamente, torna-se negativa²⁰.

Para captar movimentos ao longo de todo o tempo de ciclo de vida da tecnologia, a fórmula de velocidade média apresentada teria

²⁰ Em física, o sinal da velocidade serve unicamente para indicar o sentido do movimento: progressivo (sinal positivo, sentido da trajetória) ou retrógrado (sinal negativo, sentido contrário à trajetória). Para captar esse último tipo de movimento, calcula-se a velocidade vetorial, em lugar da escalar. Outro resultado que diferencia a velocidade vetorial da escalar é que, na primeira, mesmo na presença de movimento, a velocidade pode ser nula, se o deslocamento for igual a zero. Em módulo, a velocidade vetorial de um corpo em movimento é sempre menor ou igual à velocidade escalar, isso ocorre porque o “espaço” vetorial (um segmento de reta) é sempre menor ou igual ao espaço escalar (que segue a trajetória de um corpo em movimento). Tal resultado é uma consequência direta da geometria, que nos ensina que a menor distância entre dois pontos é um segmento de reta.

que ser modificada, tomando o tempo inicial e a posição inicial de adoção em qualquer momento no tempo. Ou seja, o tempo inicial poderia ser diferente do ano da primeira adoção ou do ano de lançamento da tecnologia, enquanto a posição inicial de adoção poderia assumir qualquer valor maior do que zero. A posição inicial de adoção corresponderia ao valor da adoção no começo do período considerado.

Nas fases de introdução e de crescimento da tecnologia no mercado, a adoção na posição inicial seria menor do que a adoção na posição final; na fase de estabilidade, os valores se igualariam. Na fase de declínio, ou melhor, obsolescência, na qual se esperaria que ocorressem reduções graduais na utilização da tecnologia com o decorrer do tempo, o valor da adoção na posição inicial seria maior do que o valor da adoção na posição final.

Por exemplo, uma tecnologia, com adoção medida em área, que tenha saído da posição de adoção de 1.000 ha, no tempo t , para 600 ha, no tempo $t+1$, teria velocidade média igual a -400 ha/ano. O uso de fórmulas que possibilitassem captar movimentos ao longo de toda a trajetória de ciclo de vida da tecnologia no mercado, exigiria uma maior disponibilidade de dados ao longo do tempo: justamente o fator mais limitante em estudos de adoção de novas tecnologias agropecuárias no Brasil.

A fórmula geral, para captar todas as fases do processo (crescimento, estabilidade e decrescimento) seria dada por:

$$VM = (q_f - q_i)/(t_f - t_i)$$

sendo VM, a velocidade média; q_f , o valor da adoção na posição final; q_i , o valor da adoção na posição inicial; t_f , o tempo final; e, t_i , o tempo inicial. Com o uso dessa fórmula geral, a suposição acerca do tipo de movimento da tecnologia no espaço de adoção poderia ser relaxada.

4. Indicador de eficiência inicial do processo de difusão

A diferença entre a velocidade média de adoção (VMA) e a velocidade média de difusão (VMD) pode ser interpretada como uma medida de perda inicial de “eficiência” do processo de difusão (PED), ou seja:

$$\text{PED} = \text{VMA} - \text{VMD}$$

com $\text{PED} \geq 0$, expresso nas mesmas unidades das velocidades.

A perda inicial de eficiência do processo de difusão (PED) é igual a zero, quando a velocidade média de adoção (VMA) é igual à velocidade média de difusão (VMD), o que ocorre quando o tempo gasto de adoção (TAG) é igual a zero, ou seja, quando a tecnologia é adotada no mesmo ano em que foi lançada. Em geral, PED maior do que zero sugere problemas associados à oferta no processo inicial de difusão da tecnologia, seja falhas no processo de comunicação por parte dos agentes de difusão, ou problemas associados à disponibilidade da tecnologia no mercado (no ano de lançamento), entre outros.

Em todas as fórmulas, o ano t é definido em virtude da disponibilidade de dados secundários em fontes oficiais ou, na ausência desses, das pesquisas de campo.

Resultados e Discussão: um exemplo de aplicação

Nesta seção é apresentado um exemplo de aplicação do método e uma breve discussão dos principais resultados, a partir da suposição do lançamento de uma tecnologia “X” qualquer, por uma dada instituição de pesquisa.

Tomando o ano de 2000 como o de lançamento da tecnologia, e admitindo o ano de início da adoção em duas alternativas (2000 ou 2001), todos os indicadores foram calculados considerando 2020 o ano t . A unidade territorial de referência é o município, o espaço de adoção pode ser, por suposição, qualquer nível territorial acima de município.

As Tabelas 1 e 2 trazem os demais dados básicos necessários ao cálculo dos indicadores, enquanto as Tabelas 3 e 4, os resultados. No cálculo das distâncias, o raio médio da Terra foi tomado como sendo ~6.371 km. Foram utilizados no cálculo da distância máxima a distância euclidiana

(fórmula de Pitágoras) e a distância geodésica (fórmulas haversines), embora na prática deva-se fazer a escolha pelo método mais preciso, que entre as opções apresentadas seria o haversine. Ademais, o exemplo é, propositadamente, apresentado para um caso hipotético porque o objetivo é evidenciar a aplicabilidade geral das fórmulas.

A distância calculada pelo método euclidiano foi, aproximadamente, de 59,79 km maior que a dada pelas fórmulas haversines, ou seja, uma diferença para mais de 3,22%. Esse erro cresce com o aumento da distância entre dois pontos, embora não seja de forma linear.

As diferenças entre os demais resultados de um mesmo indicador nas Tabelas 3 e 4, quando presentes, podem ser explicadas por diferenças no ano da primeira adoção da tecnologia, que foi supostamente tomado como sendo 2000, na Tabela 3 e 2001, na Tabela 4.

Tabela 1. Coordenadas geográficas dos municípios de origem e de destino (mais distante) da tecnologia.

Município	Coordenadas Geográficas ¹ (em graus decimais)	
	Latitude	Longitude
De origem	-12.679910	-39.089170
De destino	-23,021770	-52,918280

¹ Fonte: Google Maps (2021).

Tabela 2. Dados básicos de adoção da tecnologia, situação em 2020.

Variáveis básicas	Valor
Número de municípios que adotaram a tecnologia	100
Número de municípios do espaço de adoção com o produto-alvo da tecnologia	200
Área total de adoção	20.500ha
Área total do espaço de adoção com o produto-alvo da tecnologia	72.000ha

Tabela 3. Indicadores de adoção da tecnologia, fazendo 2000 o ano de lançamento e o ano da primeira adoção, e 2020 o ano t.

Indicadores de adoção	Valor
1. Alcance	
Distância máxima percorrida (DM), em km	
Distância euclidiana	1.918,87
Distância geodésica (fórmulas haversines)	1.859,08
Abrangência (A), em número de municípios	100
Influência (I), em (%)	
Do número de municípios	50
Da área	28,47
2. Velocidade	
Tempo gasto para adoção (TGA)	0,00
Velocidade de partida (VP_0)	1,00
Velocidade média de adoção (VMA)	
Velocidade média de adoção (em número de municípios/ano)	5,00
Velocidade média de adoção (em ha/ano)	1025,00
Velocidade média de difusão (VMD)	
Velocidade média de difusão (em número de municípios/ano)	5,00
Velocidade média de difusão (em ha/ano)	1025,00
3. Aceleração média	
Aceleração média de adoção (a_a)	
Aceleração média de adoção (em número de municípios/ano ²)	0,50
Aceleração média de adoção (em ha/ano ²)	102,50
Aceleração média de difusão (a_d)	
Aceleração média de difusão (em número de municípios/ano ²)	0,50
Aceleração média de difusão (em ha/ano ²)	102,50

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Indicadores de adoção	Valor
4. Eficiência	
Perda inicial de eficiência do processo de difusão (PED)	
PED (em número de municípios/ano)	0,00
PED (em ha/ano)	0,00

Tabela 4. Indicadores de adoção da tecnologia, fazendo 2000 o ano de lançamento, 2001 o ano da primeira adoção e 2020 o ano t.

Indicadores de adoção	Valor
1. Alcance	
Distância máxima percorrida, em km (DM)	
Distância euclidiana	1.918,87
Distância geodésica (fórmulas haversines)	1.859,08
Abrangência (A), em número de municípios	100
Influência (I), em (%)	
Do número de municípios	50
Da área	28,47
2. Velocidade	
Tempo gasto para adoção (TGA)	1,00
Velocidade de partida (VP_0)	0,50
Velocidade média de adoção (VMA)	
Velocidade média de adoção (em número de municípios/ano)	5,26
Velocidade média de adoção (em ha/ano)	1078,95
Velocidade média de difusão (VMD)	
Velocidade média de difusão (em número de municípios/ano)	5,00
Velocidade média de difusão (em ha/ano)	1025,00

Continua...

Tabela 4. Continuação.

Indicadores de adoção	Valor
3. Aceleração média	
Aceleração média de adoção (a_a)	
Aceleração média de adoção (em número de municípios/ano ²)	0,55
Aceleração média de adoção (em ha/ano ²)	113,57
Aceleração média de difusão (a_d)	
Aceleração média de difusão (em número de municípios/ano ²)	0,50
Aceleração média de difusão (em ha/ano ²)	102,50
4. Eficiência	
Perda inicial de eficiência do processo de difusão (PED)	
PED (em número de municípios/ano)	0,26
PED (em ha/ano)	53,95

Considerações Finais

o método proposto é de simples aplicação, dispensa o conhecimento a respeito da situação inicial (ou marco zero) da adoção, pode ser aplicada a qualquer momento no tempo, não necessita de série temporal sobre a adoção e fornece um “retrato” da situação da adoção de novas tecnologias num determinado momento no tempo (ano de avaliação) e espaço geográfico.

Trata-se de um método que fornece as primeiras impressões acerca da adoção e que é especialmente indicado quando não se dispõem de séries cronológicas de dados desse processo. Contudo, a aplicação do método, assim como de qualquer outro de natureza quantitativa, necessita de um número mínimo de dados.

As principais desvantagens do método estão associadas e são comuns a todo método que utiliza medidas pontuais: não captar a tendência com base em toda a informação da série e a sensibilidade do resultado ao ano de referência do levantamento dos dados (ano t). Para reduzir os vieses

resultantes dessa última limitação, o processo de coleta de dados exige cuidado, não devendo ser escolhido como ano de referência aquele que apresente comportamento atípico.

Referências

- ALMEIDA, C. O. **Método exploratório de indicadores de adoção de variedades melhoradas**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2014. 25 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 59).
- ALVES, S. **A geometria do globo terrestre**. 2004. *In*: II BIENAL DA SBM, 25 a 29 de out. 2004. Universidade Federal da Bahia. Sociedade Brasileira de Matemática: Salvador. Disponível em: <http://www.bienasbm.ufba.br>. Acesso em: 26 maio 2021.
- BERLINSKI, D. **Os elementos de Euclides**: uma história da geometria e do poder das ideias. Rio de Janeiro: Zahar, 2018.
- CHAMBERLAIN, R. G. **Q5.1**: what is the best way to calculate the great circle distance (which deliberately ignores elevation differences) between 2 points? 1996. Disponível em: <http://www.faqs.org/faqs/geography/infosystems-faq/>. Acesso em: 30 abr. 2021.
- CRILLY, T. **50 ideias de matemática que você precisa conhecer**. São Paulo: Planeta, 2017.
- GOOGLE MAPS. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps>. Acesso em: 12 maio 2021.
- IVIS, F. **Calculating geographic distance**: concepts and methods. 2006. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Calculating-Geographic-Distance%3A-Concepts-and-lvis/d69db416e8e0d32d2d17731addcbaac3298a8f3c>. Acesso em: 15 maio 2021.
- PICCIONE, P. **Geometria e Desenho Geométrico I**. Notas do Curso MAT 230 do IME–USP, s.d. Departamento de Matemática, Instituto de Matemática e Estatística Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~piccione/Downloads/geo-paolo.pdf>. Acesso em: 29 maio 2021.
- ROONEY, A. **A história da matemática**: desde a criação das pirâmides até a exploração do infinito. São Paulo: M.Books do Brasil, 2012.
- SINNOTT, R. W. Virtues of the haversine. **Sky and Telescope**, v. 68, n. 2, p. 158-159, 1984.
- VERMA, S. **Ideias geniais na matemática**: maravilhas, curiosidades, enigmas e soluções brilhantes da mais fascinante das ciências. 2. ed. Belo Horizonte: Gutenberg, 2016.
- WIKIPEDIA. **Ortodroma**. Disponível em: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Ortodroma>. Acesso em: 2 jun. 2021.



Mandioca e Fruticultura

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

CGPE 017156