

META-ANÁLISE: DEFINIÇÃO, APLICAÇÕES E SINERGIA COM DADOS ESPACIAIS¹

Alfredo José Barreto Luiz²

RESUMO

É adotada uma definição para a meta-análise e são feitas considerações sobre a origem e o significado do termo. Uma abordagem histórica mostra a evolução da idéia em diversos campos do conhecimento. São fornecidos exemplos de aplicação em medicina, agricultura e ecologia. A meta-análise é descrita como uma síntese de pesquisas anteriores sobre um tópico, que apresenta ênfase na produção de conclusões quantitativas. Ela não constitui uma técnica específica de análise de dados, mas sim um paradigma a partir do qual o pesquisador adota um novo enfoque ao reunir resultados e conclusões alheias. São apresentadas algumas fontes de dados sobre os quais a meta-análise pode ser aplicada. Esses dados geralmente são provenientes de trabalhos publicados, mas podem ser obtidos de registros de diversas instituições, ou serem uma mistura desses dois tipos com dados novos, coletados pelo próprio executor da meta-análise. É destacada a potencial sinergia entre a meta-análise e os dados espaciais na pesquisa agropecuária. São recomendados cuidados na aplicação com relação à tendenciosidade dos dados e à sua adequação aos objetivos. Conclui-se que, como toda ferramenta, a meta-análise não é uma panacéia, mas apresenta óbvias vantagens na relação custo/benefício da pesquisa, cabendo aos pesquisadores conhecê-la para bem usá-la.

Palavras-chave: agropecuária, sensoriamento remoto, estatística, informações georreferenciadas.

META-ANALYSIS: DEFINITION, APPLICATIONS AND SYNERGY WITH SPATIAL DATA

ABSTRACT

The concept of meta-analysis is defined and considerations about the origin and meaning of the term are given. A historical approach shows that the underlying idea have been applied in several research areas. Applications in medicine, agriculture and ecology are presented. Meta-analysis is described as a synthesis of the past research on a stated topic which presents emphasis in generation of quantitative conclusions. It is not a data analysis specific technique, but rather a paradigm from which the researcher has a new approach to joint another's results and conclusions. Some sources of data on which meta-analysis may be practiced are presented. These data are often from published papers, but may be from customary records of several institutions, or be a mix of these two types with new data, collected by the proper meta-analysis executing researcher. The potential synergy between meta-analysis and spatial data analysis in agricultural research is highlighted. Care in

¹ Aceito para publicação em julho de 2002.

² Engenheiro agrônomo, M.Sc. em Estatística e Métodos Quantitativos, Doutorando em Sensoriamento Remoto no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Inpe. Embrapa Meio Ambiente, Caixa Postal 69, CEP 13820-000, Jaguariúna, SP, E-mail:alfredo@cnpmembrapa.br

application are recommended in relation to data bias and its adequacy to proposed objectives. The conclusion is that, as any tool, the meta-analysis is not a panacea, but in some cases it presents obvious advantages, such as, costs/benefit relation. It is a challenge to know it well so as to use it.

Key-words: agriculture, remote sensing, statistics, georeferenced information.

INTRODUÇÃO

No Brasil a pesquisa científica ainda compete por verbas com áreas tão prioritárias para a sociedade, como o saneamento básico, a saúde pública e o ensino fundamental. Pode-se argumentar que a afirmação anterior é válida para qualquer lugar do Planeta, mas o que se quer ressaltar é que, enquanto em outros países, que já atingiram um maior grau de desenvolvimento, a questão se põe na forma de uma escolha entre melhorar a qualidade do ensino ou investir mais em pesquisa, aqui ainda estamos tentando garantir acesso ao ensino fundamental a todas as crianças. Se em outros países o dilema é entre adotar uma nova tecnologia de tratamento de efluentes ou ampliar os investimentos na pesquisa, aqui ainda temos mais da metade da população sem ao menos ter acesso à coleta de esgoto residencial. Essa realidade faz com que a responsabilidade do pesquisador brasileiro em utilizar bem os recursos colocados ao seu dispor seja ainda maior do que a dos seus colegas em países onde pelo menos as necessidades básicas da população já foram atendidas.

Tendo poucos recursos públicos, humanos e financeiros para aplicar em pesquisa científica, é obrigatório empregá-los da melhor maneira possível. E fazer pesquisa é uma atividade cara. Custa muito ao País formar e manter um pesquisador, e custa muito também mantê-lo abastecido com os instrumentos necessários ao seu trabalho. Deve-se, por isso, otimizar os resultados obtidos com o seu esforço. Uma das maneiras para que isso ocorra é garantir que os resultados obtidos sejam disponibilizados, como também os dados gerados durante o processo de descoberta. Refere-se aqui a dados gerados por instituições públicas ou em projetos financiados por verba pública. Esses dados, produzidos para atender aos objetivos específicos de uma pesquisa individual, quase sempre limitados temporal e geograficamente, podem, ao serem reunidos, cobrir um período de tempo mais longo e um espaço territorial mais amplo que quaisquer das investigações isoladas. Sobre esse novo conjunto de dados podem ser lançados diversos olhares, sob inúmeros pontos de vista, com distintos

objetivos e hipóteses, que resultarão em conclusões originais ou, ao menos, tornarão mais robustas e gerais as conclusões anteriores.

A meta-análise se oferece como um método ou mesmo um paradigma, a partir do qual o pesquisador adota um novo enfoque ao reunir resultados e conclusões alheias. Ela se distingue da usual revisão bibliográfica, comum na atividade científica, porque nela as técnicas quantitativas assumem lugar de destaque. O presente texto pretende colocar em debate, em língua portuguesa, através da definição e apresentação de exemplos de aplicação, esse método cuja utilização tem sido crescente internacionalmente em algumas áreas do conhecimento, mas ainda é praticamente desconhecido nos meios de pesquisa nacionais, em especial na pesquisa agropecuária e espacial.

DEFINIÇÃO

Uma meta-análise visa extrair informação adicional de dados preexistentes através da união de resultados de diversos trabalhos e pela aplicação de uma ou mais técnicas estatísticas.

É um método quantitativo que permite combinar os resultados de estudos realizados de forma independente (geralmente extraídos de trabalhos publicados) e sintetizar as suas conclusões ou mesmo extrair uma nova conclusão.

Origem

Segundo Finney (1995), o termo meta-análise foi utilizado pela primeira vez, no sentido aqui adotado, por G.V. Glass, em 1976, em um artigo intitulado “Primary, secondary and meta-analysis of research”, na revista **Educational Research**, volume 5, páginas 3 a 8. Antes disso, em diversos trabalhos foram utilizadas técnicas estatísticas para combinar ou reunir dados já publicados ou utilizados em outros estudos, sem entretanto ter-se cunhado um termo específico para definir o método utilizado.

O surgimento de um termo específico para definir esse procedimento ocorreu ao mesmo tempo que aumentava muito a sua utilização em diversas áreas do conhecimento. A explicação para esse aumento da popularidade da meta-análise nas últimas três ou quatro décadas pode estar na atual explosão de informação por que passa o mundo todo e, em especial, o mundo científico ou

acadêmico. Para efeito de comparação, o número de publicações científicas aumentou em média dez vezes nesse período, em diversas áreas. Em 1940, eram 2.300 publicações biomédicas e, em 1995, já eram quase 25.000; em psicologia eram 91 em 1951 e 1.195 em 1992; já em matemática evoluiu-se de 91 em 1953 para 920 em 1992 (Olkin, 1995).

Além desse alto crescimento na quantidade de publicações e, conseqüentemente, de trabalhos publicados, temos ainda o aumento significativo na velocidade da divulgação dos trabalhos via internet. Também associado ao desenvolvimento dos recursos eletrônicos e computacionais, vimos aumentar muito a capacidade de aquisição, armazenamento, transporte e análise de dados na forma digital, o que, com certeza, influenciou na decisão de alguns cientistas em reanalisarem ou superanalisarem conjuntos de dados ou resultados já disponíveis ao invés de obterem seus próprios dados.

Significado

O prefixo meta tem vários significados segundo o Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa. Entre eles, “mudança”, “transcendência” e, principalmente, “reflexão crítica sobre”, são os que mais se adequam à abordagem aqui adotada. Uma meta-análise, então, seria aquela que muda ou transcende o resultado de análises anteriores, sendo uma reflexão crítica sobre elas. Ainda, mais literalmente, podemos afirmar que a meta-análise é uma análise de análises. O uso dado ao termo associou-o ainda aos métodos quantitativos, ou seja, para se configurar uma meta-análise não basta que se analisem qualitativamente os resultados de trabalhos anteriores, como em uma revisão, pois é imprescindível uma nova análise estatística dos dados ou resultados reunidos para que o processo receba essa designação.

APLICAÇÕES

Praticamente qualquer técnica de análise estatística poderá ser aplicada em meta-análises, dependendo apenas da natureza dos dados e dos objetivos do estudo; uma descrição detalhada de diversos testes estatísticos que podem ser utilizados em meta-análise aparece no trabalho de Pereira, 1996. Da mesma maneira, qualquer área do conhecimento poderá fazer uso da meta-análise para

elucidar problemas cuja abordagem por experimentos ou levantamentos individuais abrangentes têm fortes impedimentos práticos ou custos muito elevados. Em Wolf, 1986, aparecem alguns exemplos de aplicação em problemas originados das Ciências Sociais e, a seguir, são apresentados casos de aplicação em medicina, agricultura e ecologia.

Medicina

Inegavelmente a medicina é a área que mais avançou no uso da meta-análise até o presente momento. Talvez o motivo disso sejam as dificuldades práticas, os riscos, os custos e ainda as implicações éticas que envolvem os experimentos com seres humanos e mesmo a obtenção de dados de pessoas submetidas a tratamentos médicos. Parece bastante razoável que essas sejam as razões pelas quais cada vez mais pesquisadores das áreas biomédicas buscam no uso da meta-análise a solução mais rápida, segura e econômica de problemas, principalmente no que diz respeito ao estabelecimento de critérios que subsidiem a tomada de decisão por parte dos responsáveis pelas políticas de saúde pública.

O crescente uso desse método na área médica, em especial na epidemiologia, levou à publicação, em 1995, pela revista *Journal of Clinical Epidemiology*, no volume 48, de um número inteiramente dedicado ao tema meta-análise. Ao procurar pelo termo “meta-analysis” no Science Citation Index (SCI), em março de 2002, foram listados 6.461 trabalhos. Quando cruzados também com os termos: “medical” ou “medicine”, a relação encontrada tinha 645 entradas. Para comparação, quando o cruzamento foi com “ecology”, 31 trabalhos foram recuperados, enquanto que com “agriculture” apenas sete escritos apareceram na lista.

Também no Brasil, a maioria dos trabalhos publicados com o uso explícito da meta-análise está ligada às áreas médicas. Ao realizar uma busca pelo termo meta-análise, em março de 2002, (na realidade, [meta **E** análise] OU [meta **E** analysis]), utilizando a base SCIELO, foram encontrados apenas doze artigos, sendo onze da área médica (Collins et al., 2000; Duncan & Schmidt, 1999; Fontelles & Mantovani, 2001; Guidugli et al., 2000; Junqueira, 2001; Krauss-Silva et al., 1999; Lima, 1999; Lima et al., 2000; Oliveira et al., 2000; Ribeiro et al., 2000; Santos et al., 1998) e um da Ecologia (Bini et al., 2001).

O trabalho de Fontelles & Mantovani (2001) foi selecionado para exemplificar a utilidade do método. Os autores investigaram oito trabalhos pu-

blicados entre 1977 e 2000 sobre o uso de antibióticos em casos de complicações infecciosas resultantes de traumas torácicos.

É interessante nesse exemplo notar a dificuldade que os pesquisadores nessa área encontram para comporem suas amostras de trabalho, pois é óbvio que não seria possível, apenas para efeito de estudo clínico, provocar traumas torácicos em seres humanos saudáveis. O pesquisador portanto, precisa coletar os dados que ocorram espontaneamente durante um certo período (prazo do projeto de pesquisa ou tese, geralmente) e em um determinado local (quase sempre hospitais, neste caso). Isso nem sempre garante a quantidade ideal de elementos na amostra, podendo resultar em análises inconclusivas.

Na Tabela 1 aparecem os dados resumidos dos oito trabalhos analisados isoladamente e também o resultado da meta-análise. Em cada trabalho observou-se a ocorrência de uma complicação pós-cirúrgica, o empiema pleural, em dois grupos de pacientes que haviam sofrido trauma torácico, um grupo que recebeu antibiótico (tratamento) e outro que não recebeu (controle). Para avaliar a efetividade da administração do antibiótico foi calculado o Risco Relativo (RR), que consiste simplesmente na razão entre a proporção de ocorrência de empiema no grupo controle e no grupo tratado.

Cada autor citado testou individualmente o valor de RR obtido e concluiu, baseado em teste de significância, pela efetividade ou não do uso de

Tabela 1. Resultados individuais e conjunto dos estudos incluídos na meta-análise.

Autor	Ano	Casos de empiema/total		Risco relativo: Controle/tratamento	Conclusão sobre uso do antibiótico
		Tratamento	Controle		
Grover	1977	1/37	6/37	6,00	Negativa
Stone	1981	1/60	3/60	3,00	Negativa
Le Blanc	1985	0/39	1/46	2,36	Negativa
Mandal	1985	0/40	1/40	2,00	Negativa
Lo Curto	1986	0/30	5/28	10,71	Positiva
Brunner	1990	0/44	6/46	11,48	Positiva
Gonzalez	1998	0/71	2/68	4,18	Negativa
Fontelles	2000	1/63	7/104	4,24	Negativa
Meta-análise		3/384	31/429	9,25	Positiva

Fonte: Adaptado de Fontelles e Mantovani, 2001.

antibióticos na prevenção de aparecimento do empiema. Pode-se notar que em seis dos oito trabalhos a conclusão estatística foi negativa, ou seja, apesar de haver uma maior ocorrência de complicação do tipo empiema nos pacientes que não receberam antibióticos, o RR observado não permitia afirmar que essa diferença era significativa. Entretanto, quando se procedeu à meta-análise dos resultados, aplicando-se o teste de Mantel-Haenszel, o RR observado foi significativo ($p < 0,001$), indicando que o risco de ocorrência do empiema era 9,25 vezes maior entre os que não tomaram antibióticos.

Esse exemplo mostra claramente que, nesse caso, apenas com o uso das técnicas apropriadas de análise, sem a necessidade de realizar nenhum experimento ou coleta de dados, foi possível se chegar a uma conclusão de grande valor e que apresenta maior confiabilidade em relação a qualquer dos trabalhos individuais realizados anteriormente.

Agricultura

Como em quase tudo que diz respeito à estatística aplicada aos problemas agrícolas, Sir Ronald A. Fisher foi o primeiro a abordar de forma sistemática a análise conjunta de experimentos conduzidos de forma independente. Já no seu livro “Statistical Methods for Research Workers”, cuja primeira edição saiu em 1925, ele apresentava um tópico específico sobre “a combinação de probabilidades originadas de testes de significância” (Fisher, 1970). Outros nomes ilustres da estatística aplicada à agricultura, como Yates, Cochran e Finney, também se debruçaram sobre o problema da análise de grupos de experimentos desde antes da Segunda Guerra Mundial. Foi inclusive essa guerra que, como costuma acontecer em momentos de grave crise, praticamente obrigou a utilização cada vez mais racional dos recursos, incluídos aí os dados de pesquisa. Na Inglaterra, uma ilha cercada pelos mortíferos submarinos alemães, era necessário aumentar rapidamente a produção de alimentos, pois os navios que traziam esses produtos eram constantemente afundados, causando perdas de vidas e aumentando consideravelmente os custos, sendo limitado então o comércio por via marítima e destinado prioritariamente aos produtos essenciais ao esforço de guerra. Com os recursos como terra arável, fertilizantes e sementes sob estritas limitações, era necessário, no menor tempo possível, decidir onde, quando e o que plantar, com qual e quanto fertilizante, para garantir a máxima produção. Foi nesse momento que Yates, auxiliado pelos seus assistentes, entre eles Finney, que é quem conta essa história, se utilizou de inúmeros experimentos de campo,

conduzidos desde o início do século não só na Grã-Bretanha, como também em diversos países da Europa Ocidental que tinham padrão de cultivo similar ao da Inglaterra, sobre a resposta das principais culturas à aplicação de fertilizantes, produzindo estimativas da magnitude do aumento na produção associado às doses dos principais elementos fertilizantes. Esses resultados serviram de base para o estabelecimento de uma política nacional que, em resumo, indicava que havia potencial de aumentar a produção interna de alimentos se fosse possível garantir a continuidade na importação de certos fertilizantes. Isso certamente contribuiu para salvar a vida de inúmeros marinheiros ingleses, enquanto a população britânica continuou a ser adequadamente alimentada (Finney, 1995).

Em nenhum desses trabalhos, entretanto, utilizou-se do termo meta-análise. Na realidade, embora em algumas áreas da pesquisa agropecuária seja comum a utilização de análise conjunta de experimentos, como no melhoramento genético vegetal, por exemplo, a meta-análise propriamente dita ainda não ocupa um lugar de destaque nessa disciplina. Isso pode ser prejudicial ou pode também limitar a qualidade das conclusões obtidas em alguns trabalhos que se fundamentaram em artigos anteriores, pois, sem o paradigma da meta-análise, pode haver uma tendência a se restringir numa análise qualitativa dos dados, perdendo a oportunidade de quantificar os resultados.

Um exemplo disso é flagrante num artigo relativamente recente (Raij, 1998) de um eminente pesquisador brasileiro na área de química e fertilidade do solo, o Dr. Bernardo van Raij, do Instituto Agrônomo – IAC. Esse trabalho visava estabelecer, através da revisão de resultados anteriormente publicados que utilizaram testes de biodisponibilidade, qual o melhor método de análise de nutrientes do solo do ponto de vista da produção agrícola. Para melhor se compreender a análise seguinte, é necessário saber que os testes de biodisponibilidade são aqueles em que são administradas diferentes doses de nutrientes ao solo, em cultivos conduzidos sob condições controladas, e se coletam dados sobre a produtividade obtida e sobre o teor de nutrientes em cada parcela. O teor de nutrientes é analisado por diferentes métodos de extração química. Os dados de produtividade são ajustados a uma curva conhecida como dose/resposta, que representa uma função que relaciona o teor de nutrientes com a produtividade. Os métodos químicos de análise são comparados mediante coeficiente de determinação (R^2) encontrado para cada função ajustada. Quanto maior o R^2 melhor se mostra o método para estimar a biodisponibilidade do nutriente estudado.

Raij reuniu uma considerável coleção de trabalhos publicados entre 1968 e 1996, nos quais onze métodos químicos de extração do fósforo foram testados e onde foi determinado o R^2 (Tabela 2). O trabalho teria tudo para se

Tabela 2. Coeficiente de determinação ($R^2 \times 100$) para o ajuste de função que relaciona o teor de P no solo e a produtividade das culturas, encontrados por diversos autores para diferentes métodos químicos de extração.

Autor	Métodos de extração de fósforo (P)										11	
	Resina Olsen	Mehlich-1	Pi	Bray-1	Water	ELF	CaCl ₂	Egnér	Mehlich-3	AB.DTPA		
Simonis b	83	80	63		51		71	50	51			7
Menon 88	40	66	17	76	54	22						6
Matula		31	43	59			19	39	24			6
Tran 87	76	71	36		53					55		5
Ibrikci	87		50	87		34				74		5
Tran 92		53				74	42	28		71		5
Grigg	91	76			73				86			4
Raij 84	64	15	47		42							4
Menon 90		81	9	88	74							4
Naidu	81	21	18		24							4
Kumar a	84	77		81	78							4
Kumar b	94	92		94	90							4
Kumar c	90	89		90	87							4
Simard a	90	58				88	77					4
Simard b	81	81				69	66					4
Simard c	85	45				77	78					4
Simard d	86	79				62	69					4
Sibbesen	90	86						51				3
Raij 80	68		0		52							3
Schoenau a	94	96				97						3
Schoenau b	86	78				79						3
Silva a	62		57	29								3
Silva b	78		69	40								3
Grande	96		17									2
Raij 86	71		49									2
Salcedo	73					88						2
Abrams	79									72		2
Qian	84	70										2
Saggars	84	75										2
Kuo		82		79								2
Fotyma								79	83			2
Guo		44		61								2
Simonis a		77						51				2
N	26	24	13	11	11	10	7	6	4	3	1	33

encaixar dentro da definição de meta-análise se as discussões e as conclusões não tivessem sido feitas sobre análises apenas qualitativas, como: “... o método da Resina apresenta os maiores valores de R^2 na maioria dos casos ...”, ou ainda: “... em relação ao método Olsen, o método da Resina apresentou valores maiores de R^2 em 16 dos 18 casos nos quais os dois métodos foram comparados ...”.

Nos trabalhos revisados havia muita variabilidade entre diversas características, como por exemplo: os experimentos foram realizados em países tão diferentes como Nova Zelândia, Dinamarca, Holanda, Brasil, Canadá, EUA, Austrália, Polônia, República Tcheca e Grécia; as culturas agrícolas utilizadas foram canola, trigo, milho, aveia, cana-de-açúcar, alface e arroz; o número de métodos testados (k) variou de dois até sete por experimento; o número de vezes (N) que cada método foi testado variou de uma vez até 26 vezes. Assim, a simples comparação “visual” entre os métodos não permite afirmar que este ou aquele é melhor ou pior que os demais.

Para efeito demonstrativo foi aplicado, aos dados expostos no trabalho do Dr. van Raij, o procedimento da meta-análise, ou seja, conferiu-se à análise dos múltiplos experimentos um caráter quantitativo e estatístico.

Devido às características dos dados, optou-se por uma análise não paramétrica, usando-se um método baseado em ordenamento e um teste desenvolvido por Kruskal e Wallis em 1952, que permite analisar qualquer número de amostras independentes. O procedimento é simples e está descrito no livro de Conover (1999, p. 288-297). Basicamente os valores de R^2 de todos os métodos em todos os experimentos são ordenados em ordem crescente, substituindo-se então os valores de R^2 pela respectiva posição ocupada no ordenamento. Separam-se os métodos e calcula-se a posição média de cada um. É construída uma estatística que permite afirmar, no grau de significância desejado, se os métodos são todos iguais ou pelo menos um deles é diferente dos demais. Se a decisão for pela última hipótese, é possível então compararem-se todos os métodos, dois a dois. No presente caso, a hipótese da igualdade entre os métodos foi rejeitada com 99,5% de significância, e provou-se, no mesmo nível de confiabilidade, que o método da Resina teve desempenho superior aos métodos Olsen, Bray 1, EUF, CaCl_2 e Mehlick 1.

O método Pi e o método Olsen foram melhores que o CaCl_2 e o Mehlick 1. Já os métodos Water e Bray 1 foram melhores apenas que o Mehlick 1.

A conclusão a que se chega é que, apesar de ser superior a cinco métodos, o método da Resina não pode ser considerado significativamente melhor que os outros cinco métodos (Pi, Water, AB DTPA, Egnér e Mehlick 3), pelo menos com base nesse conjunto de dados analisados.

É lógico que a análise feita pelo Dr. van Raij é muito mais profunda e científica do ponto de vista da química envolvida nos métodos testados, e não é o intuito aqui discutir esses aspectos. O exemplo é utilizado com o fim de demonstrar que existe à disposição dos pesquisadores uma forma quantitativa de encarar a conhecida revisão de trabalhos anteriores, que pode vir a facilitar sobremaneira a observação e interpretação de complexos conjuntos de dados. Sob o paradigma da meta-análise há como que um impulso para se obter uma maior liberdade na utilização quantitativa dos dados já publicados.

Ecologia

A Ecologia é outra área em que a necessidade de uma visão ampla sobre os processos que se desenvolvem sobre extensos ambientes leva naturalmente a uma procura por métodos que permitam a síntese de conclusões e dados independentes em teorias ou análises mais gerais. Assim a meta-análise tem tido uma crescente utilização também nessa disciplina.

Um exemplo pode ser visto em um recente artigo, no qual os autores (Bini et al., 2001) utilizam um enfoque meta-analítico para estudar a relação entre a densidade populacional e o tamanho corpóreo de mamíferos e aves. Segundo a regra de equivalência energética (EER), um assunto ainda controverso em Ecologia, a quantidade de energia que cada espécie usa por unidade de área é independente do seu tamanho corpóreo. Se essa hipótese fosse verdadeira, o coeficiente angular (b) da reta de regressão entre densidade e tamanho do corpo assumiria o valor $b = -0,75$ para todas as espécies.

Utilizando o paradigma da meta-análise, os autores desenvolveram um método estatisticamente válido de combinar os coeficientes angulares de diferentes estudos e analisaram 74 retas de regressão de espécies de mamíferos e outras 53 retas de espécies de pássaros. Os resultados encontrados, $b = -0,7547$ para mamíferos e $b = -0,3207$ para pássaros, invalidam as afirmações de alguns autores de que a EER seria uma regra geral da estrutura comunitária.

TIPOS DE DADOS

A forma como os dados poderão ser tratados dependerá quase totalmente da fonte de onde eles foram obtidos, pois essa determina o seu detalhamento. Se só dispusermos das estatísticas dos dados, como médias, coeficientes angulares, proporções, as técnicas disponíveis para a análise conjunta serão diferentes daquelas que poderão ser aplicadas quando se dispuser dos dados brutos ou originais.

Resultados em trabalhos publicados

No caso dos dados serem provenientes de trabalhos já publicados, a sua obtenção é bastante simples, exatamente igual à que se utiliza em uma revisão bibliográfica comum. Não há necessidade de autorização para uso, pois os dados já são de domínio público, sendo apenas indispensável a citação correta da fonte. Entretanto, isso não significa que os autores que geraram e publicaram os dados posteriormente usados em uma meta-análise irão concordar com suas conclusões, podendo mesmo virem a ser ácidos críticos da mesma.

Em contrapartida à facilidade de obtenção, uma desvantagem deste tipo de dados é que raramente as revistas publicam artigos com os dados originais. Na maioria das vezes, só são apresentados os resultados já analisados, na forma de estatísticas como média, variância, coeficiente de determinação, etc., o que limita os tipos de técnicas que poderão ser aplicadas na meta-análise. Geralmente as técnicas mais adequadas nesses casos serão do tipo não paramétrico.

Apesar de os métodos não paramétricos serem menos exigentes que os paramétricos em termos de suposições sobre os dados, continuam sendo necessárias algumas características fundamentais para a garantia de uma análise consistente e confiável. As suposições que ainda permanecem obrigatórias são: todas as amostras são aleatórias dentro de suas respectivas populações; as amostras são independentes entre si; a escala de medida é sempre a mesma ou linearmente transformável (Conover, 1999).

Cuidados extras devem ser tomados para verificar se as condições “ambientais” onde foram desenvolvidos os diversos trabalhos não variaram significativamente em algum importante fator influente sobre a variável de interesse. Isso não inviabiliza a meta-análise mas, se ocorrer, precisa ser incorporado

de alguma forma pela técnica de análise escolhida. Para evitar que esse tipo de detalhe passe despercebido é fundamental que os artigos utilizados como fonte de dados sejam lidos integralmente, e não apenas copiados os dados das suas tabelas.

Dados brutos de pesquisas anteriores

O pesquisador poderá ter acesso aos dados brutos de pesquisas anteriores de diversas formas além de trabalhos publicados. É o caso de dados coletados e armazenados ao longo do tempo por empresas, universidades ou institutos de pesquisa, que eventualmente serviram a um ou outro propósito, como teses, diagnósticos, publicações, etc., mas nunca foram reunidos em uma única análise. Infelizmente, nem sempre as instituições estão preocupadas ou preparadas para disponibilizar esses dados de maneira eficiente. Teoricamente, os sistemas de bancos de dados eletrônicos podem armazenar os dados originais dos estudos individuais e mantê-los acessíveis por longo tempo para uso, entre outras coisas, em meta-análises. Entretanto, a implementação dos registros completos e o armazenamento eletrônico dos dados requerem enorme capacidade organizacional, boa vontade dos cientistas em colaborar, e considerações éticas (Irwig, 1995).

Encaixam-se nessa categoria de dados os registros hospitalares, as análises laboratoriais, as variáveis climáticas, as informações sobre uso de insumos ou venda de produtos, etc. Um exemplo desse tipo de fonte de dados pode ser visto em um trabalho no qual, para avaliar o impacto ambiental do aumento da área irrigada no Município de Guaíra, SP, foram utilizados os registros da quantidade média mensal, ao longo dos anos, dos produtos químicos usados para o tratamento da água para abastecimento urbano, mantidos pela empresa de saneamento local. Os dados mostravam a utilização de uma quantidade crescente de produtos, o que era decorrente de um aumento na presença de sólidos em suspensão na água a ser tratada. A análise efetuada apontou para uma consistente relação entre este evidente prejuízo na qualidade ambiental e o aumento da área irrigada no município (Ferreira et al., 1996).

Em casos excepcionais, pode-se conseguir dos autores de trabalhos publicados que forneçam os dados originais para serem submetidos à meta-análise. Nesse caso, esbarra-se em problemas de relacionamento pessoal, institucional e até internacional, que podem raramente facilitar e, mais freqüentemente, dificultar a obtenção dos dados.

De qualquer maneira, conseguidos os dados brutos, as possibilidades de análise estatística passam a ser enormes, sendo definida pelos objetivos e linha de trabalho do pesquisador e, também, pelas características dos dados. A fonte dos dados, nessa situação, pouco interfere na escolha da análise.

Um outro obstáculo à utilização de dados brutos é a heterogeneidade entre bases de dados, tanto dentro de uma mesma instituição, ao longo do tempo, como entre instituições. Ou seja, para uma variável que vem sendo coletada ao longo dos últimos 50 anos por um órgão qualquer, pode ter havido várias mudanças na forma de sua obtenção, que impeçam ou dificultem sua utilização em conjunto. O mesmo pode ocorrer, até com mais frequência, entre órgãos distintos, que se utilizem de diferentes métodos para o cálculo do valor de uma determinada variável.

Um exemplo de problema causado pela heterogeneidade pode ser visto no trabalho de Santos et al. (1998), no qual se avaliam os efeitos do consumo de cafeína durante a gravidez. Foram estudados 26 trabalhos publicados entre 1966 e 1995, entre os quais 11 foram sobre o peso médio ao nascer (PMN), 9 sobre baixo peso ao nascer (BPN) e 4 sobre retardo do crescimento intra-uterino (RCIU). Através da meta-análise foi possível identificar uma redução estatisticamente significativa de 43 gramas no PMN entre os recém-nascidos de mães que consumiam maiores quantidade de cafeína. Entretanto, quanto ao efeito da cafeína sobre o BPN e RCIU, os autores concluíram que a grande heterogeneidade da literatura disponível não permitia o cálculo confiável de estimativas agrupadas através da meta-análise.

Associação de dados antigos com novos

Nesse caso, a fonte de dados alheios pode ser qualquer das duas anteriormente relacionadas, acrescida de um conjunto de dados novos, coletados pelo próprio pesquisador.

Os exemplos mais conhecidos de utilização desse tipo de dados em meta-análise, embora não sejam associados a esse termo nem tenham um caráter estritamente científico, são as pesquisas de opinião, especialmente as eleitorais. Nessas pesquisas existe uma parte essencial dos dados que é coletada pelo pesquisador, que são as opiniões e características dos entrevistados. Entretanto,

para que possa extrapolar a opinião de duas a três mil pessoas, de forma a representar a opinião de mais de cem milhões de eleitores, é necessário lançar mão de dados auxiliares, geralmente obtidos no Brasil pelos censos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE –, que permitem a distribuição correta da proporção da intenção de voto por sexo, idade, região, classe socioeconômica, grau de instrução, etc.

No campo mais ligado à pesquisa científica também é possível visualizar a utilidade desse tipo de dados, especialmente quando se trata de informações georreferenciadas e dados de sensoriamento remoto. Quase sempre, ao utilizar uma imagem de sensoriamento remoto (dados novos), o pesquisador fará a sua sobreposição a dados preexistentes, como mapas de solo, limites geopolíticos, cartas planialtimétricas, etc.

SINERGIA COM DADOS ESPACIAIS

São aqui considerados “espaciais” quaisquer dados que possam ser associados a uma posição no espaço. Em medicina, a ocorrência ou utilização desse tipo de dado é mais comum nos estudos de epidemiologia, enquanto em ecologia eles estão relacionados com a distribuição geográfica de espécies, comunidades e ecossistemas, e na agricultura aparecem com destaque nos zoneamentos agrícolas. Em todos esses casos existe um grande potencial para o uso da meta-análise associada a dados obtidos por sensoriamento remoto ou a outros dados georreferenciados.

Na realidade, como em outras áreas, já se vem fazendo algo parecido com meta-análise, mesmo que não seja com esse nome. O que se quer aqui demonstrar é que parece haver uma tendência natural com o intuito de otimizar o uso dos dados de sensoriamento remoto ao se adotar o paradigma da meta-análise. Não esquecendo que sob essa designação está implícito o uso de métodos quantitativos de análise.

Embora os dados de sensoriamento remoto sejam também georreferenciados, ou ao menos facilmente georreferenciáveis, eles serão aqui tratados em separado, pois entende-se que, mais freqüentemente, as informações georreferenciadas serão aquelas preexistentes e os dados de sensoriamento remoto farão o papel de dados novos numa meta-análise.

Informações georreferenciadas

Essas informações tanto poderão estar claramente georreferenciadas, como no caso de mapas em geral, como poderão ser obtidas de trabalhos publicados, nos quais não havia uma preocupação com a posição geográfica do dado coletado, mas ela pode ser inferida e usada na meta-análise. Ou seja, podem ser usados, por exemplo, trabalhos de competição de cultivares de soja publicados em anais de congressos ou em revistas específicas da área, em que para cada ano ou local foi produzido um relatório. Se é fornecida a localização do experimento, mesmo que apenas na forma do nome do município, é possível georreferenciar os dados de produtividade obtidos nesses experimentos, em base municipal, está claro, e utilizá-los em uma meta-análise.

Muitos outros exemplos podem ser imaginados, o importante é a idéia de que, em inúmeras áreas de aplicação, pode-se extrair de artigos sobre eventos isolados no espaço a posição geográfica dos fatos relatados, e isso pode vir a formar uma base de dados georreferenciados, sem que os autores originais tenham necessariamente se preocupado com essa informação. A visão conjunta, quantitativa e espacial promovida pelo uso concomitante de um sistema de informações geográficas e da meta-análise possibilitará em muitos casos o estabelecimento e até a comprovação de novas hipóteses sobre o relacionamento entre as variáveis estudadas.

Dados de sensoriamento remoto

Segundo Janssen e Wel (1994), o sensoriamento remoto funciona como uma técnica de aquisição de dados. Os sensores dos satélites de observação da Terra, como o Landsat (norte-americano), o SPOT (francês) e o CBERS (sino-brasileiro), medem a quantidade relativa de radiação eletromagnética que é refletida (e emitida) pela superfície da Terra. De fato, esse é um processo de amostragem que divide a superfície da Terra em áreas iguais chamadas de elementos de cena. A representação de um elemento de cena na imagem é conhecida como pixel (de *picture element* em inglês). As medições obtidas desses elementos em diversas bandas espectrais são convertidas e armazenadas em um número limitado de níveis de quantização (p. ex., códigos de 8 ou 16 bits). Os valores armazenados são denominados de números digitais (ND).

O imageamento por satélite fornece uma caracterização espectral completa de uma área, na forma digital, que pode ser utilizada para classificá-la,

entre outras coisas, por tipo de cultura agrícola (Ambrósio Flores & Iglesias Martínez, 2000).

Os dados de sensoriamento remoto reúnem diversas características que os tornam candidatos naturais ao uso em meta-análise. São dados quantitativos, ou numéricos, por natureza. Cada cena em si já é uma certa forma de visão conjunta ou sinóptica; os dados são homogeneamente distribuídos sobre todo o planeta; são sempre coletados da mesma forma (por um mesmo sensor ou família de sensores); já oferecem séries históricas, mais ou menos duradouras.

Com o que foi dito até aqui sobre a meta-análise, chega-se à conclusão de que o sensoriamento remoto poderia se beneficiar com a adoção do paradigma da meta-análise, pois seus dados adquiririam maior abrangência de utilização. Além disso, a própria pesquisa em sensoriamento remoto poderia se utilizar desse procedimento.

É preciso ressaltar que não só os dados dos satélites de observação da Terra, como Landsat, SPOT e CBERS, possuem características que os indicam como úteis ao procedimento de meta-análise. Os dados dos satélites meteorológicos (p. ex., NOAA e GOES) e também os adquiridos por radares (p. ex., ERS, JERS e Radarsat) são adequados da mesma maneira e pelos mesmos motivos, só variando talvez o tipo de aplicação.

CUIDADOS NA APLICAÇÃO

Apesar de sua reconhecida utilidade, como qualquer método ou técnica, a meta-análise pode ser mal utilizada, levando a conclusões errôneas ou tendenciosas (Bailar III, 1995). Algumas das causas da má aplicação da meta-análise podem e devem ser evitadas, entre elas estão a tendenciosidade na escolha dos dados e a inadequação dos mesmos aos objetivos propostos. É importante lembrar que, como em toda a atividade humana, o mau uso não é inerente ao método, e sim devido à má intenção ou formação do seu usuário.

Tendenciosidade dos dados

A tendenciosidade pode se insinuar na escolha dos dados que serão utilizados na meta-análise de diversas maneiras. A primeira e mais freqüente delas é

a escolha de trabalhos favoráveis à hipótese que o pesquisador quer provar. O favorecimento pode até não ser consciente, mas se manifesta inclusive na forma como se buscam os trabalhos publicados, através do tipo de palavras-chave escolhidas, da linha das revistas consultadas, e até do período pesquisado.

Outra maneira de inculir tendência aos dados é, por exemplo, a restrição quanto à língua em que os trabalhos foram publicados, que terá uma forte associação com a distribuição geográfica dos dados, o que pode repercutir de forma decisiva nas conclusões encontradas.

O importante é ter em mente que, apesar de não ser possível, no estrito sentido do termo, aleatorizar os dados que comporão uma meta-análise, deve-se procurar garantir que a forma de escolha dos ensaios a serem incluídos, a ocorrência de dados discrepantes, a heterogeneidade associada ao ambiente de coleta e a presença de causas de variação não controladas não contaminem de forma tendenciosa o conjunto a ser estudado (Anello & Fleiss, 1995; Guggenmos-Holzmann, 1995).

Um exemplo de tendenciosidade pode ser visto em um trabalho na área de genética, de Collins et al., 2000. O artigo apresenta uma meta-análise de estudos publicados sobre associação alélica ou de ligação que têm em comum apenas os níveis de significância relatados. Os autores concluem que os relatos são tendenciosos, sendo que a não significância raramente foi quantificada. Isso resultou em que a meta-análise não pode identificar oligogenes dentro de uma região candidata nem estabelecer sua significância (objetivos iniciais do trabalho), apesar de definir bem as regiões candidatas.

Adequação dos dados aos objetivos

Outra possível fonte de frustração para os usuários da meta-análise pode ser a inadequação dos dados existentes na literatura aos objetivos propostos. Isso também pode ocorrer em experimentos tradicionais, onde os dados são gerados especificamente para o estudo em questão e mesmo assim, ao final da análise, se mostram insuficientes para sustentar quaisquer conclusões. No caso da meta-análise, entretanto, esse risco é maior, pois o pesquisador não está totalmente livre para delinear seus experimentos, sendo “obrigado” a trabalhar sobre dados que foram produzidos para atender a outros objetivos (Anello & Fleiss, 1995). Apesar desse risco aumentado, como os custos desse método são geralmente muito inferiores aos custos do estabelecimento de experimentos ou

levantamentos da forma tradicional, a relação custo/benefício permanece favorável ao uso da meta-análise.

Um exemplo de frustração na aplicação desse procedimento pode ser visto em um artigo de Krauss-Silva et al. (1999), no qual foram utilizados dados referentes a mais de 20 mil partos ocorridos em sete maternidades públicas, não universitárias, da cidade do Rio de Janeiro. Os autores simplesmente afirmaram que não foi possível realizar a análise de resultados, em razão da impossibilidade de ajustar os resultados para idade gestacional, um poderoso fator interveniente. Ou seja, para a análise pretendida era necessária a informação sobre idade gestacional, mas em inúmeros casos essa informação não foi registrada e em muitos outros ela foi registrada de maneira inadequada. Isso impossibilitou a classificação dos partos em prematuros ou não prematuros, o que acabou comprometendo todos os demais passos da análise.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A meta-análise é um poderoso recurso à disposição dos pesquisadores, que lhes permite tratar, quantitativamente e de forma simultânea, conjuntos de dados, alheios ou não, obtidos independentemente.

Como toda ferramenta, a meta-análise não é universal, perfeita, ou infalível (Wolf, 1986). Ela tem o seu nicho de aplicação e nele deve ser utilizada, pois oferece vantagens óbvias quanto à relação custo/benefício na pesquisa. Cabe aos pesquisadores, portanto, conhecê-la para bem usá-la.

Alguns críticos alertam para a possibilidade de a meta-análise tornar-se um fim em si mesma (o que, aliás, costuma acontecer com muitas ferramentas), afastando a energia intelectual dos trabalhos científicos mais básicos que precisam ainda ser feitos. A tentação intelectual de construir modelos matemáticos e reagrupar estudos anteriores pode ser usada como uma fuga dos desafios científicos mais fundamentais (Feinstein, 1995).

Embora esses perigos sejam reais, ainda assim conclui-se que o uso criterioso e responsável da meta-análise pode auxiliar na otimização da aplicação dos escassos recursos para a pesquisa ao permitir e até incentivar a reutilização dos resultados obtidos, dando oportunidade a que um mesmo conjunto de dados

possa ser avaliado, não só por quem o gerou, como por diversos outros analistas.

Fica claro também que instituições e empresas de pesquisa devem se preocupar em armazenar de maneira segura e recuperável um dos seus maiores patrimônios, qual sejam, os dados brutos gerados pelos seus projetos de pesquisa. Pois eles representarão uma riquíssima fonte de matéria prima para futuras (e hoje insuspeitas) investigações, que terão objetivos possivelmente bem diferentes daqueles dos projetos que geraram os dados, e poderão levar a novas ou diferentes conclusões.

REFERÊNCIAS

AMBROSIO FLORES, L.; IGLESIAS MARTÍNEZ, L. Land cover estimation in small areas using ground survey and remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, St Paul, v. 74, p. 240-248, 2000.

ANELLO, C.; FLEISS, J. L. Exploratory or analytic meta-analysis: should we distinguish between them? **Journal of Clinical Epidemiology**, New Haven, v. 48, n. 1, p. 109-116, 1995.

BAILAR III, J. C. The practice of meta-analysis. **Journal of Clinical Epidemiology**, New Haven, v. 48, n. 1, p. 149-157, 1995.

BINI, L. M.; COELHO, A. S. G.; DINIZ-FILHO, J. A. F. Is the relationship between population density and body size consistent across independent studies? A meta-analytical approach. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 61, n. 1, p. 1-6, 2001.

COLLINS, A.; ENNIS, S.; TAPPER, W.; MORTON, N. E. Mapping oligogenes for atopy and asthma by meta-analysis. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 23, n. 1, p. 1-10, 2000.

CONOVER, W. J. **Practical nonparametric statistics**. 3. ed. New York: John Wiley, 1999. 584 p.

DUNCAN, B. B.; SCHMIDT, M. I. Medicina embasada em evidências. **Revista da Associação Médica Brasileira**, São Paulo, v. 45, n. 3, p. 247-254, 1999.

FEINSTEIN, A. R. Meta-analysis: statistical alchemy for the 21st century. **Journal of Clinical Epidemiology**, New Haven, v. 48, n. 1, p. 71-79, 1995.

FERREIRA, C. J. A.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; TOLEDO, L. G.; LUIZ, A. J. B.; ROCHA, J.; LELIS, L. L. Influência dos sistemas agrícolas irrigados por aspersão sobre a qualidade dos recursos hídricos. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 1996, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 1996.

FINNEY, D. A statistician at meta-analysis. **Journal of Clinical Epidemiology**, New Haven, v. 48, n. 1, p. 87-103, 1995.

FISHER, R. A. **Statistical methods for research workers**. 14th ed. New York: Hafner Press, 1970. 362 p.

FONTELLAS, M. J.; MANTOVANI, M. Incidence of infectious complications following tube thoracostomy with and without use of antibiotic therapy: meta-analysis study. **Acta Cirurgica Brasileira**, São Paulo, v. 16, n. 4, 2001.

GUGGENMOOS-HOLZMANN, I. Exploratory or analytic meta-analysis: should we distinguish between them: discussion. **Journal of Clinical Epidemiology**, New Haven, v. 48, n. 1, p. 117-118, 1995.

GUIDUGLI, F.; CASTRO, A. A.; ATALLAH, A. N. Systematic reviews on leptospirosis. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, São Paulo, v. 42, n. 1, p. 47-49, 2000. IRWIG, L. A statistician at met-analysis: discussion. **Journal of Clinical Epidemiology**, New Haven, v. 48, n. 1, p. 105-108, 1995.

IRWIG, L. A statistician at met-analysis: discussion. **Journal of Clinical Epidemiology**, New Haven, v. 48, n. 1, p. 105-108, 1995.

JANSSEN, L. L. F.; WEL, J.M. van der. Accuracy assessment of satellite derived land cover data: a review. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Lincoln, v. 60, n. 4, p. 419-426, 1994.

JUNQUEIRA, P. A. Moyama like arteriopathy in Down syndrome: meta-analysis and clinical epidemiological study. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, São Paulo, v. 59, n. 2A, p. 304, 2001.

KRAUSS-SILVA, L.; COSTA, T. P.; REIS, A. F.; IAMADA, N. O.; AZEVEDO, A. P.; ALBUQUERQUE, C. P. Avaliação da qualidade da assistência hospitalar obstétrica: uso de corticóides no trabalho de parto prematuro. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 4, p. 817-829, 1999.

LIBERATI, A. Meta-analysis: statistical alchemy for the 21st century: discussion. A plea for a more balanced view of meta-analysis and systematic overviews of the effect of health care interventions. **Journal of Clinical Epidemiology**, New Haven, v. 48, n. 1, p. 81-86, 1995.

LIMA, M. S. Tratamento farmacológico da distímia: avaliação crítica da evidência científica. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, São Paulo, v. 21, n. 2, p. 128-130, jun. 1999.

LIMA, M. S.; SOARES, B. G. O.; BACALTCHUK, J. Psiquiatria baseada em evidências. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 142-146, set. 2000.

OLIVEIRA, C. A. C.; TROSTER, E. J.; PEREIRA, C. R Inhaled nitric oxide in the management of persistent pulmonary hypertension of the newborn: a meta-analysis. **Revista do Hospital das Clínicas**, São Paulo, v. 55, n. 4, p. 145-154, ago. 2000.

OLKIN, I. Statistical and theoretical considerations in meta-analysis. **Journal of Clinical Epidemiology**, New Haven, v. 48, n. 1, p. 133-146, 1995.

PEREIRA, M. C. A. **Elementos de meta-análise**. 1996. 65 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Estatística, Universidade de Brasília, Brasília.

RAIJ, B. van. Bioavailable tests: alternatives to standard soil extractions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 29, n. 11-14, p. 1553-1570, 1998.

RIBEIRO, M. G.; PEREIRA, E. L. A.; SANTOS-JESUS, R.; SENA, E. P.; PETRIBÚ, K.; OLIVEIRA, I. R. Nortriptyline blood levels and clinical outcome: meta-analysis of published studies. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 51-56, 2000.

SANTOS, I. S.; VICTORIA, C. G.; HUTTLY, S.; MORRIS, S. Caffeine intake and pregnancy outcomes: a meta-analytic review. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 523-530, 1998.

WOLF, F. M. **Meta-analysis**: quantitative methods for research synthesis. Newbury Park, CA: Sage, 1986. 65p. (Series, 07-059).