

# Índice de dissipação de erosividade (IDE): avaliação de desempenho humano

*Luiz Renato D'Agostini<sup>1</sup>, José Eloir Denardin<sup>2</sup>, Jorge Lemainski<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor, professor da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC

<sup>2</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

## Introdução

A Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial. Em 2003, a Agência Nacional de Águas (2012) propôs, apropriadamente à natureza social da questão ambiental no manejo do meio, em especial da água, o Programa Produtor de Água (PPA). Um dos alvos do PPA é premiar agricultores que adotem práticas de controle de erosão, pressupondo estabelecer correlação entre qualidade de manejo de solo, nível de produção de sedimentos e implicações sobre poluição e disponibilidade de água à jusante.

Com o intuito de operacionalizar o PPA, Chaves et al. (2004) propuseram, a partir de relações entre valores atribuíveis a fatores da Equação Universal de Perdas de Solo - USLE (WISCHMEIER; SMITH, 1978), procedimentos para quantificar “potencial de abatimento de erosão”. Assim, a operacionalização dessa intenção requer procedimento para quantificar as relações entre qualidade do manejo do solo e níveis de erosão. A USLE e seus fatores são empiricamente derivados, logo, a proposição de Chaves et al. (2004) se aplica quando e onde for possível a derivação daqueles fatores. Enfim, usar fatores empíricos em condições diversas daquelas de sua derivação resultaria em perda de confiabilidade na inferência que é condição fundamental em relações de compensação entre interessados.

O objetivo do estudo é propor uma alternativa para a operacionalização do PPA ou de outros programas voltados a avaliar o desempenho humano no uso da terra, através da proposta de um coeficiente para avaliar a produção de sedimentos em escala de bacia hidrográfica.

## Material e Métodos

### Elementos da proposição

Uma bacia hidrográfica caracteriza um sistema termodinamicamente aberto. Em relação à água e para os propósitos deste estudo, as entradas no sistema ocorrem como precipitação pluvial e as saídas como vazão na foz, onde encontram-se sólidos em suspensão sendo transportados, em um trabalho mecânico. Erosão é, portanto, trabalho mecânico.

A única causa fundamental da erosão e conseqüente produção de sedimentos é a força gravitacional terrestre. Macroscopicamente, essa causa manifesta-se como energia contida na água da gota da chuva e do escoamento (energia cinética em águas aceleradas pela gravidade).

De outro lado, são diversos os fatores que afetam a efetividade da gravidade em acelerar a água e assim produzir sedimentos. Os fatores relevo e regime de chuvas não dependem do desempenho humano. Já outros sim, como é o caso das condições de superfície decorrentes da qualidade das relações intencionais mantidas entre o homem e o meio.

Fatores não controláveis, como chuva, área e relevo da bacia hidrográfica, podem ser associados à capacidade do sistema em produzir resultado. Já fatores manejáveis, como vegetação e permeabilidade do solo, são associáveis à capacidade do sistema em dissipar capacidade produtora de resultado.

O Segundo Princípio da Termodinâmica implica no fato de que uma quantidade de energia (Joules) não pode ser integralmente convertida em trabalho útil, ou seja:

$$Ws = E - d \quad (1)$$

em que  $d$  é a fração do potencial erosivo  $E$  que não é convertida em trabalho útil  $Ws$ .

Como  $Ws$  e  $d$  são frações do potencial  $E$ , tem-se:

$$\frac{Ws}{E} = 1 - \frac{d}{E} \quad \text{ou} \quad \frac{Ws}{E} = \beta \quad (2)$$

em que  $\beta$  é coeficiente de efetividade da conversão. Quanto maior o valor de  $\beta$ , menor é a dissipação de energia erosiva em determinada extensão de terra com determinado padrão geométrico e sob um determinado regime pluvial.

Em processos afastados do equilíbrio termodinâmico, tal como a produção de sedimentos, a fração de energia convertida em trabalho é sempre muito pequena ( $0 \leq \beta < 1$ ). De outro lado, garantir produção de sedimentos igual a zero em terras sob uso é quase impossível. Assume-se, assim, que a dificuldade de melhorar o desempenho ambiental na redução dos valores de  $\beta$  é maior quando os valores deste coeficiente já forem mais baixos. Por isso, o reconhecimento na avaliação de desempenho ambiental também deve crescer na medida em que  $\beta$  diminui.

Então, considerados os sempre baixos valores absolutos de  $\beta$  e a conveniência de se expressar o desempenho ambiental como índice objetivamente comparável, um Índice de Dissipação de Erosividade (IDE) pode ser proposto como:

$$IDE = (1 - \beta^{1/v})^v \quad (3)$$

em que  $v \geq 1$  assegurar significância a  $\beta$  em relação à unidade e possibilita selecionar a inclinação da função  $IDE(\beta)$  em função do contexto em que se dá a avaliação de desempenho.

### Derivação do trabalho $Ws$ e do potencial energético $E$

O termo  $Ws$  (J) corresponde ao trabalho realizado a expensas de potencial  $E$  (J). Esse trabalho consiste no transporte de sedimentos, que ocorre sobre plano de comprimento médio  $L$  (m) com inclinação média  $\theta$ . Assim,

$$Ws = Ms L g \cos\theta \quad (4)$$

em que  $Ms$  é massa (kg) de sedimentos e  $g$  é aceleração gravitacional ( $m s^{-2}$ ).

De acordo com Villela e Mattos (1975), o comprimento médio  $L$  pode ser obtido como:

$$L = \frac{A}{4 lw} \quad (5)$$

em que  $A$  é área ( $m^2$ ) da bacia hidrográfica e  $lw$  é comprimento (m) da sua rede de drenagem.

O potencial energético  $E$  é a quantidade de energia cinética possível de fluir. O termo  $E$  é, assim, o somatório da energia cinética da chuva e da energia cinética máxima possível no escoamento superficial. Nos dois casos, a energia cinética emerge da conversão de coordenadas de posição em coordenadas de movimento por ação gravitacional. Tem-se então que:

$$E = E_{cC} + E_{cE} \quad (6)$$

em que  $E$  (J) é quantidade de energia adequada à realização de trabalho mecânico,  $E_{cC}$  é energia cinética da chuva e  $E_{cE}$  é energia cinética do escoamento.

Enquanto que o componente  $E_{cC}$ , estimado pela equação constante em Wischmeier e Smith (1978), é energia na forma adequada à realização de trabalho mecânico, o componente  $E_{cE}$  resulta de produto entre a energia de posição ( $E_{pE}$ ) idealmente possível de se converter em energia cinética no escoamento superficial e um coeficiente de propensão do fluido viscoso em converter coordenadas de posição em coordenadas de movimento sobre o plano, i.e.:

$$E_{pE} = M a g h \quad (7)$$

em que  $E_{pE}$  é energia de posição,  $M a$  é massa de água (kg),  $g$  é aceleração gravitacional ( $\text{ms}^{-2}$ ) e  $h$  é altura média (m) em relação ao curso d'água para onde flui o escoamento. Logo,

$$E_{cE} = M a g h \mu \quad (8)$$

em que  $0 < \mu < 1$  é o referido coeficiente de propensão em converter coordenadas. Substituindo a altura  $h$  pela correspondente relação entre comprimento e inclinação, tem-se:

$$E = E_{cC} + M a g L \text{sen}\theta \mu \quad (9)$$

Derivação do coeficiente  $\mu$

A propensão da massa converter suas coordenadas de posição em coordenadas de movimento por ação de gravidade é inversamente proporcional ao tempo requerido para a conversão. Em trajetória vertical, o tempo é mínimo e a propensão é máxima. Na medida em que o plano se aproxima da posição horizontal, o tempo tende a infinito e a propensão tende ao mínimo. Assim, há um tempo específico de conversão de coordenadas  $h$  correspondente a cada medida de propensão, e ambos variam segundo a inclinação  $\theta$  do plano, tal que  $00 < \theta < 900$ .

Das equações do movimento, em condição ideal e exclusivamente por ação da gravidade, o tempo  $t_h$  (s) para deslocamento vertical ao longo de uma altura  $h$  (m) e o tempo  $t_L$  (s) de deslocamento ao longo de plano com comprimento  $L$  (m) e inclinação  $\theta$  (0) são, respectivamente:

$$t_h = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad \text{e} \quad t_L = \sqrt{\frac{2L}{g \sin \theta}} \quad (10)$$

Dado que a propensão à conversão de coordenadas de posição em movimento é inversamente proporcional ao tempo dessa conversão, e que  $t_h$  é tempo referencial, a razão entre esse tempo e qualquer tempo  $t_L$  define coeficiente de propensão específica de conversão sobre plano de comprimento médio  $L$  e inclinação média  $\theta$ . Então:

$$\mu = \frac{t_h}{t_L} = \sin \theta \quad (11)$$

em que  $\mu$  é o coeficiente de propensão em converter coordenadas. Substituindo em (9), tem-se:

$$E = EcC + Ma g L \sin^2 \theta \quad (12)$$

A equação (12) define a quantidade de energia idealmente disponível. Todavia, uma quantidade de energia não define, por si só, a capacidade efetiva do sistema em produzir trabalho. Na realização de um trabalho, a forma que a energia flui pode ser mais determinante que a quantidade, ou seja, a efetividade da energia mecânica realizar trabalho é fortemente determinada pelo produto duração x intensidade do fluxo dessa energia.

### Efetividade do regime do fluxo de energia

A energia encerrada na água revela-se tanto mais efetiva em produzir erosão quanto mais a água flui de forma a manter elevado o produto entre intensidade e duração do fluxo. Assim, propõe-se um coeficiente de efetividade do regime do fluxo de energia a partir da água da chuva como expressão do produto da soma de tempos de precipitação real ( $t_{\text{eventos}}$ ) dividida por todo o tempo de uma mesma chuva ( $t_{\text{total}}$ ), e a intensidade média ponderada  $i_{\text{mp}}$  de precipitação em cada chuva, dividida pela intensidade máxima  $i_{\text{max}}$  da chuva no evento correspondente. Tem-se então:

$$R = \frac{t_{\text{eventos}}}{t_{\text{total}}} \left( \frac{i_{\text{mp}}}{i_{\text{max}}} \right)_{\text{ponderado}} \quad (13)$$

em que o conjunto de coeficientes ( $i_{\text{mp}}/i_{\text{max}}$ ) resulta em um único coeficiente  $(i_{\text{mp}}/i_{\text{max}})_{\text{ponderado}}$ , ponderado pelo tempo total de eventos, e  $R$  é coeficiente redutor de efetividade decorrente do regime de fluxo de energia encerrada na água que incide e pode escoar sobre o solo. Incorporando a equação (13) à equação (12), e substituindo em (2):

$$\beta = \frac{Ws}{(EcC + Ma g L \text{sen}2\theta) R} \quad (14)$$

em que  $Ws$  é trabalho (J) correspondente ao sedimento carregado até cursos d'água,  $EcC$  é energia cinética da chuva (J),  $Ma$  é massa (kg) de água potencialmente passível de escoar superficialmente,  $g$  é a aceleração gravitacional ( $ms^{-2}$ ),  $L$  é comprimento médio (m) do trajeto de escoamento sobre o solo,  $\theta$  é inclinação média do terreno,  $R$  (adimensional) é termo de efetividade do regime do fluxo de energia, e  $\beta$  é coeficiente ( $J J^{-1}$ ) de efetividade de conversão de potencial energético em resultado produção de sedimentos.

### O Índice de Dissipação de Erosividade (IDE)

O IDE proposto por D'Agostini et al. (2017) é um índice objetivamente comparável que permite distinguir o desempenho individual do ser humano em promover efetivamente o controle do processo de perda e carreamento de sedimento até a rede de drenagem. Movendo-o a desempenhar cada vez melhor, ações que promovam a conservação ambiental. O IDE é determinado pela equação 15.

$$IDE = (1 - \beta^{1/v})^v \quad (15)$$

No caso admite-se que  $v = 2$ .

A proporção de energia erosiva (energia cinética da chuva e do escoamento superficial) que se converte em trabalho mecânico de erosão é baixa, muito baixa (tipo 0,001 ou 0,0001, que equivale a 0,00001% ou 0,000001%). Isso impede a distinção de dois valores de IDE como índices expressos com um ou dois decimais, como seria desejável para se associar a uma nota de desempenho. O  $v$  no expoente  $1/v$  do fator  $b$  (dentro do parêntese) possibilita superar essa limitação, pois seu efeito é de amplificar aquela fração pequenininha. Uma função de  $v$  é essa. A outra função de  $v$  é permitir a distinção de desempenhos muito bons. Para isto o valor de  $v$  pode ser adequado a uma determinada situação.

A possibilidade de  $v$  variar tem a seguinte razão. Na medida em que o desempenho no controle da erosão melhora (o IDE tende à unidade), fica cada vez mais difícil melhorar ainda mais (e por outro lado sempre se poderá melhorar sem nunca alcançar essa unidade). Por isso é fácil distinguir dois desempenhos ruins, mas fica cada vez mais difícil distinguir entre dois desempenhos bons. Isso poderia levar aqueles que já estejam desempenhando bem a se desinteressarem em melhorar ainda mais seu desempenho, uma vez que ficaria inviável se diferenciar. Muito bem! Aumentando o valor de  $v$ , o valor a ser diminuído da unidade dentro do parêntese aumenta, possibilitando melhor distinguir entre dois agricultores que já desempenhem bem. Em certas regiões do Brasil a agricultura é menos desenvolvida daquela que se pratica em outras áreas agrícolas, por isso, o  $v$  seria escolhido em função desse contexto.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2012. **Manual operativo do Programa Produtor de Água**. 2 ed. Brasília, DF, 84 p. Disponível em: <[http://PRodutordeagua.ana.gov.br/Portals/0/DocsDNN6/documentos/Manual %20 Operativo%20Vers%C3%A3o%202012%20%2001\\_10\\_12.pdf](http://PRodutordeagua.ana.gov.br/Portals/0/DocsDNN6/documentos/Manual%20Operativo%20Vers%C3%A3o%202012%20%2001_10_12.pdf)>. Acesso em: 12/04/2017

CHAVES, H. M. L.; BRAGA JR, B.; DOMINGUES, A. F.; SANTOS, D. G. 2004. Quantificação dos benefícios e compensações do “Programa do Produtor de Água” (ANA): II. Aplicação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 15-21.

D’AGOSTINI, L.R.; DENARDIN, J.E.; J. LEMAINSKI. **Índice de dissipação de Erosividade**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2017 (19p.) – (Documentos online/Embrapa Trigo, ISSN 1518-65 12; 175).

WISCHMEIER, W.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, 1978. 58 p. (Supersedes Agriculture Handbook, n. 282). Disponível em: <<https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>>.

# Índice de dissipação de erosividade (IDE): avaliação de desempenho humano

*Luiz Renato D'Agostini<sup>1</sup>, José Eloir Denardin<sup>2</sup>, Jorge Lemainski<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor, professor da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC

<sup>2</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

## Introdução

A Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial. Em 2003, a Agência Nacional de Águas (2012) propôs, apropriadamente à natureza social da questão ambiental no manejo do meio, em especial da água, o Programa Produtor de Água (PPA). Um dos alvos do PPA é premiar agricultores que adotem práticas de controle de erosão, pressupondo estabelecer correlação entre qualidade de manejo de solo, nível de produção de sedimentos e implicações sobre poluição e disponibilidade de água à jusante.

Com o intuito de operacionalizar o PPA, Chaves et al. (2004) propuseram, a partir de relações entre valores atribuíveis a fatores da Equação Universal de Perdas de Solo - USLE (WISCHMEIER; SMITH, 1978), procedimentos para quantificar “potencial de abatimento de erosão”. Assim, a operacionalização dessa intenção requer procedimento para quantificar as relações entre qualidade do manejo do solo e níveis de erosão. A USLE e seus fatores são empiricamente derivados, logo, a proposição de Chaves et al. (2004) se aplica quando e onde for possível a derivação daqueles fatores. Enfim, usar fatores empíricos em condições diversas daquelas de sua derivação resultaria em perda de confiabilidade na inferência que é condição fundamental em relações de compensação entre interessados.

O objetivo do estudo é propor uma alternativa para a operacionalização do PPA ou de outros programas voltados a avaliar o desempenho humano no uso da terra, através da proposta de um coeficiente para avaliar a produção de sedimentos em escala de bacia hidrográfica.

## Material e Métodos

### Elementos da proposição

Uma bacia hidrográfica caracteriza um sistema termodinamicamente aberto. Em relação à água e para os propósitos deste estudo, as entradas no sistema ocorrem como precipitação pluvial e as saídas como vazão na foz, onde encontram-se sólidos em suspensão sendo transportados, em um trabalho mecânico. Erosão é, portanto, trabalho mecânico.

A única causa fundamental da erosão e conseqüente produção de sedimentos é a força gravitacional terrestre. Macroscopicamente, essa causa manifesta-se como energia contida na água da gota da chuva e do escoamento (energia cinética em águas aceleradas pela gravidade).

De outro lado, são diversos os fatores que afetam a efetividade da gravidade em acelerar a água e assim produzir sedimentos. Os fatores relevo e regime de chuvas não dependem do desempenho humano. Já outros sim, como é o caso das condições de superfície decorrentes da qualidade das relações intencionais mantidas entre o homem e o meio.

Fatores não controláveis, como chuva, área e relevo da bacia hidrográfica, podem ser associados à capacidade do sistema em produzir resultado. Já fatores manejáveis, como vegetação e permeabilidade do solo, são associáveis à capacidade do sistema em dissipar capacidade produtora de resultado.

O Segundo Princípio da Termodinâmica implica no fato de que uma quantidade de energia (Joules) não pode ser integralmente convertida em trabalho útil, ou seja:

$$Ws = E - d \quad (1)$$

em que  $d$  é a fração do potencial erosivo  $E$  que não é convertida em trabalho útil  $Ws$ .

Como  $Ws$  e  $d$  são frações do potencial  $E$ , tem-se:

$$\frac{Ws}{E} = 1 - \frac{d}{E} \quad \text{ou} \quad \frac{Ws}{E} = \beta \quad (2)$$

em que  $\beta$  é coeficiente de efetividade da conversão. Quanto maior o valor de  $\beta$ , menor é a dissipação de energia erosiva em determinada extensão de terra com determinado padrão geométrico e sob um determinado regime pluvial.

Em processos afastados do equilíbrio termodinâmico, tal como a produção de sedimentos, a fração de energia convertida em trabalho é sempre muito pequena ( $0 \leq \beta < 1$ ). De outro lado, garantir produção de sedimentos igual a zero em terras sob uso é quase impossível. Assume-se, assim, que a dificuldade de melhorar o desempenho ambiental na redução dos valores de  $\beta$  é maior quando os valores deste coeficiente já forem mais baixos. Por isso, o reconhecimento na avaliação de desempenho ambiental também deve crescer na medida em que  $\beta$  diminui.

Então, considerados os sempre baixos valores absolutos de  $\beta$  e a conveniência de se expressar o desempenho ambiental como índice objetivamente comparável, um Índice de Dissipação de Erosividade (IDE) pode ser proposto como:

$$IDE = (1 - \beta^{1/v})^v \quad (3)$$

em que  $v \geq 1$  assegurar significância a  $\beta$  em relação à unidade e possibilita selecionar a inclinação da função  $IDE(\beta)$  em função do contexto em que se dá a avaliação de desempenho.

### Derivação do trabalho $Ws$ e do potencial energético $E$

O termo  $Ws$  (J) corresponde ao trabalho realizado a expensas de potencial  $E$  (J). Esse trabalho consiste no transporte de sedimentos, que ocorre sobre plano de comprimento médio  $L$  (m) com inclinação média  $\theta$ . Assim,

$$Ws = Ms L g \cos\theta \quad (4)$$

em que  $Ms$  é massa (kg) de sedimentos e  $g$  é aceleração gravitacional ( $m s^{-2}$ ).

De acordo com Villela e Mattos (1975), o comprimento médio  $L$  pode ser obtido como:

$$L = \frac{A}{4 lw} \quad (5)$$

em que  $A$  é área ( $m^2$ ) da bacia hidrográfica e  $lw$  é comprimento (m) da sua rede de drenagem.

O potencial energético  $E$  é a quantidade de energia cinética possível de fluir. O termo  $E$  é, assim, o somatório da energia cinética da chuva e da energia cinética máxima possível no escoamento superficial. Nos dois casos, a energia cinética emerge da conversão de coordenadas de posição em coordenadas de movimento por ação gravitacional. Tem-se então que:

$$E = E_{cC} + E_{cE} \quad (6)$$

em que  $E$  (J) é quantidade de energia adequada à realização de trabalho mecânico,  $E_{cC}$  é energia cinética da chuva e  $E_{cE}$  é energia cinética do escoamento.

Enquanto que o componente  $E_{cC}$ , estimado pela equação constante em Wischmeier e Smith (1978), é energia na forma adequada à realização de trabalho mecânico, o componente  $E_{cE}$  resulta de produto entre a energia de posição ( $E_{pE}$ ) idealmente possível de se converter em energia cinética no escoamento superficial e um coeficiente de propensão do fluido viscoso em converter coordenadas de posição em coordenadas de movimento sobre o plano, i.e.:

$$E_{pE} = M a g h \quad (7)$$

em que  $E_{pE}$  é energia de posição,  $M a$  é massa de água (kg),  $g$  é aceleração gravitacional ( $\text{ms}^{-2}$ ) e  $h$  é altura média (m) em relação ao curso d'água para onde flui o escoamento. Logo,

$$E_{cE} = M a g h \mu \quad (8)$$

em que  $0 < \mu < 1$  é o referido coeficiente de propensão em converter coordenadas. Substituindo a altura  $h$  pela correspondente relação entre comprimento e inclinação, tem-se:

$$E = E_{cC} + M a g L \text{sen}\theta \mu \quad (9)$$

Derivação do coeficiente  $\mu$

A propensão da massa converter suas coordenadas de posição em coordenadas de movimento por ação de gravidade é inversamente proporcional ao tempo requerido para a conversão. Em trajetória vertical, o tempo é mínimo e a propensão é máxima. Na medida em que o plano se aproxima da posição horizontal, o tempo tende a infinito e a propensão tende ao mínimo. Assim, há um tempo específico de conversão de coordenadas  $h$  correspondente a cada medida de propensão, e ambos variam segundo a inclinação  $\theta$  do plano, tal que  $00 < \theta < 900$ .

Das equações do movimento, em condição ideal e exclusivamente por ação da gravidade, o tempo  $t_h$  (s) para deslocamento vertical ao longo de uma altura  $h$  (m) e o tempo  $t_L$  (s) de deslocamento ao longo de plano com comprimento  $L$  (m) e inclinação  $\theta$  (0) são, respectivamente:

$$t_h = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad \text{e} \quad t_L = \sqrt{\frac{2L}{g \sin \theta}} \quad (10)$$

Dado que a propensão à conversão de coordenadas de posição em movimento é inversamente proporcional ao tempo dessa conversão, e que  $t_h$  é tempo referencial, a razão entre esse tempo e qualquer tempo  $t_L$  define coeficiente de propensão específica de conversão sobre plano de comprimento médio  $L$  e inclinação média  $\theta$ . Então:

$$\mu = \frac{t_h}{t_L} = \sin \theta \quad (11)$$

em que  $\mu$  é o coeficiente de propensão em converter coordenadas. Substituindo em (9), tem-se:

$$E = EcC + Ma g L \sin^2 \theta \quad (12)$$

A equação (12) define a quantidade de energia idealmente disponível. Todavia, uma quantidade de energia não define, por si só, a capacidade efetiva do sistema em produzir trabalho. Na realização de um trabalho, a forma que a energia flui pode ser mais determinante que a quantidade, ou seja, a efetividade da energia mecânica realizar trabalho é fortemente determinada pelo produto duração x intensidade do fluxo dessa energia.

### Efetividade do regime do fluxo de energia

A energia encerrada na água revela-se tanto mais efetiva em produzir erosão quanto mais a água flui de forma a manter elevado o produto entre intensidade e duração do fluxo. Assim, propõe-se um coeficiente de efetividade do regime do fluxo de energia a partir da água da chuva como expressão do produto da soma de tempos de precipitação real ( $t_{\text{eventos}}$ ) dividida por todo o tempo de uma mesma chuva ( $t_{\text{total}}$ ), e a intensidade média ponderada  $i_{\text{mp}}$  de precipitação em cada chuva, dividida pela intensidade máxima  $i_{\text{max}}$  da chuva no evento correspondente. Tem-se então:

$$R = \frac{t_{\text{eventos}}}{t_{\text{total}}} \left( \frac{i_{\text{mp}}}{i_{\text{max}}} \right)_{\text{ponderado}} \quad (13)$$

em que o conjunto de coeficientes ( $i_{\text{mp}}/i_{\text{max}}$ ) resulta em um único coeficiente  $(i_{\text{mp}}/i_{\text{max}})_{\text{ponderado}}$ , ponderado pelo tempo total de eventos, e  $R$  é coeficiente redutor de efetividade decorrente do regime de fluxo de energia encerrada na água que incide e pode escoar sobre o solo. Incorporando a equação (13) à equação (12), e substituindo em (2):

$$\beta = \frac{Ws}{(EcC + Ma g L \text{sen}2\theta) R} \quad (14)$$

em que  $Ws$  é trabalho (J) correspondente ao sedimento carregado até cursos d'água,  $EcC$  é energia cinética da chuva (J),  $Ma$  é massa (kg) de água potencialmente passível de escoar superficialmente,  $g$  é a aceleração gravitacional ( $ms^{-2}$ ),  $L$  é comprimento médio (m) do trajeto de escoamento sobre o solo,  $\theta$  é inclinação média do terreno,  $R$  (adimensional) é termo de efetividade do regime do fluxo de energia, e  $\beta$  é coeficiente ( $J J^{-1}$ ) de efetividade de conversão de potencial energético em resultado produção de sedimentos.

### O Índice de Dissipação de Erosividade (IDE)

O IDE proposto por D'Agostini et al. (2017) é um índice objetivamente comparável que permite distinguir o desempenho individual do ser humano em promover efetivamente o controle do processo de perda e carreamento de sedimento até a rede de drenagem. Movendo-o a desempenhar cada vez melhor, ações que promovam a conservação ambiental. O IDE é determinado pela equação 15.

$$IDE = (1 - \beta^{1/v})^v \quad (15)$$

No caso admite-se que  $v = 2$ .

A proporção de energia erosiva (energia cinética da chuva e do escoamento superficial) que se converte em trabalho mecânico de erosão é baixa, muito baixa (tipo 0,001 ou 0,0001, que equivale a 0,00001% ou 0,000001%). Isso impede a distinção de dois valores de IDE como índices expressos com um ou dois decimais, como seria desejável para se associar a uma nota de desempenho. O  $v$  no expoente  $1/v$  do fator  $b$  (dentro do parêntese) possibilita superar essa limitação, pois seu efeito é de amplificar aquela fração pequenininha. Uma função de  $v$  é essa. A outra função de  $v$  é permitir a distinção de desempenhos muito bons. Para isto o valor de  $v$  pode ser adequado a uma determinada situação.

A possibilidade de  $v$  variar tem a seguinte razão. Na medida em que o desempenho no controle da erosão melhora (o IDE tende à unidade), fica cada vez mais difícil melhorar ainda mais (e por outro lado sempre se poderá melhorar sem nunca alcançar essa unidade). Por isso é fácil distinguir dois desempenhos ruins, mas fica cada vez mais difícil distinguir entre dois desempenhos bons. Isso poderia levar aqueles que já estejam desempenhando bem a se desinteressarem em melhorar ainda mais seu desempenho, uma vez que ficaria inviável se diferenciar. Muito bem! Aumentando o valor de  $v$ , o valor a ser diminuído da unidade dentro do parêntese aumenta, possibilitando melhor distinguir entre dois agricultores que já desempenhem bem. Em certas regiões do Brasil a agricultura é menos desenvolvida daquela que se pratica em outras áreas agrícolas, por isso, o  $v$  seria escolhido em função desse contexto.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2012. **Manual operativo do Programa Produtor de Água**. 2 ed. Brasília, DF, 84 p. Disponível em: <[http://PRodutordeagua.ana.gov.br/Portals/0/DocsDNN6/documentos/Manual %20 Operativo%20Vers%C3%A3o%202012%20%2001\\_10\\_12.pdf](http://PRodutordeagua.ana.gov.br/Portals/0/DocsDNN6/documentos/Manual%20Operativo%20Vers%C3%A3o%202012%20%2001_10_12.pdf)>. Acesso em: 12/04/2017

CHAVES, H. M. L.; BRAGA JR, B.; DOMINGUES, A. F.; SANTOS, D. G. 2004. Quantificação dos benefícios e compensações do “Programa do Produtor de Água” (ANA): II. Aplicação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 15-21.

D’AGOSTINI, L.R.; DENARDIN, J.E.; J. LEMAINSKI. **Índice de dissipação de Erosividade**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2017 (19p.) – (Documentos online/Embrapa Trigo, ISSN 1518-65 12; 175).

WISCHMEIER, W.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, 1978. 58 p. (Supersedes Agriculture Handbook, n. 282). Disponível em: <<https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>>.