

Relatório



2^a PROPOSTA DE FATOR ÚNICO PARA A PENALIZAÇÃO DOS PERFIS DAS BIOMASSAS USADAS NA RENOVABIO

Nilza Patrícia Ramos¹
Marília I. da Silveira Folegatti¹
Anna Letícia M. T. Pighinelli¹
Renan M. L. Novaes¹
Ruan Carnier¹
Priscila Seixas Sabaini¹
Giulia Cruz Lamas¹
Gabriela Ciribeli S. Pompêu¹
Mateus F. Chagas²
Joaquim E. A. Seabra³
Marcelo A. Boechat Morandi⁴

¹ Embrapa Meio Ambiente ²Laboratório Nacional de Biorrenováveis ³Unicamp ³Embrapa Assessoria de Relações Internacionais

**Jaguariúna, SP
Outubro- 2025**

1. Histórico e Justificativa para Atualização

A metodologia de cálculo da intensidade de carbono da RenovaCalc segue as premissas da avaliação do ciclo de vida (ACV) de produtos, que é normatizada pelas normas ISO 14040:2006, ISO 14044:2006 (ISO, 2006 a, b) e ISO 14067:2018 (ISO, 2018). Com isso, são consideradas as emissões de gases de efeito estufa (GEE) nas etapas do ciclo de vida do biocombustível, com exceção de mudança de uso da terra, incluindo a intensidade de carbono (IC) dos insumos até as emissões das etapas agrícola, industrial e de distribuição. Na ferramenta, são disponibilizadas estruturas de preenchimento específicas para as diferentes etapas do ciclo de vida (Figura 1), com exceção da etapa de consumo do combustível em motores veiculares, que é pré-contabilizada usando valores da literatura científica.

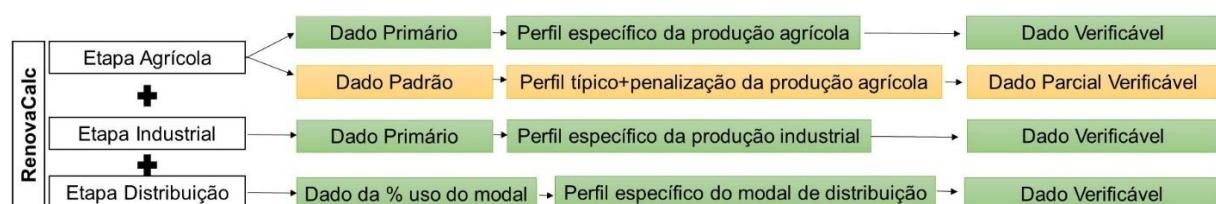


Figura 1. Esquema simplificado das etapas de produção do biocombustível consideradas na RenovaCalc, com indicação do tipo de dado requerido e do nível de verificação.

A etapa agrícola da RenovaCalc traz a opção de contabilizar as emissões de GEE mediante o uso de dados “primários” ou dados “padrão” (também chamados de “penalizados” ou “default”) para as biomassas de soja, cana-de-açúcar, milho e milho usado no etanol importado. Conforme a Figura 1, na opção de dados “primários” há exigência de verificação de todo o conjunto de informações preenchidas na RenovaCalc, para que se aprove a certificação. Por outro lado, o dado “padrão” exige um conjunto menor de informações verificáveis, com o objetivo de viabilizar a participação, na política, de produtores que não tenham capacidade de fornecer todos os dados primários exigidos. Para evitar que o perfil “padrão” subestime as emissões de GEE reais, ele corresponde a um valor penalizado, que representa o perfil mais usual de produção da biomassa (“típico”), adicionado de uma “penalização”. A opção “padrão” deve ser utilizada apenas nos casos em que não existam informações verificáveis para todos os parâmetros solicitados na RenovaCalc.

Na implementação da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), a premissa para a penalização aplicada ao dado “padrão” das biomassas foi elaborada considerando os valores reais mais elevados de cada um dos parâmetros agrícolas presentes na RenovaCalc (**Tabela 1**). Na ocasião, esta premissa foi considerada suficiente, pela equipe do GT-ACV RenovaBio, para evitar que os dados não declarados fossem mais altos que as piores situações reais dos produtores, sendo uma penalidade segura para a RenovaBio.

Tabela 1. Perfil agrícola “penalizado”, usado para compor o dado “padrão” das biomassas soja, cana-de-açúcar, milho brasileiro e milho usado no etanol importado (I), descritos na RANP-758 (Fonte: Folegatti-Matsuura et al., 2018).

Parâmetros	Soja	Cana	Milho	Milho I
Área queimada (%)	n.a.*	100	n.a	n.a
Calcário calcítico ou dolomítico (kg/t de biomassa)	546,60	12,00	105,8	113,3
Gesso agrícola (kg/t de biomassa)	90,60	5,00	-	-
Sementes (kg/t de biomassa)	39,16	n.a.	11,6	-
Fertilizantes sintéticos nitrogenados - N (kg/t de biomassa)	5,55	2,00	31,4	41,8
Fertilizantes sintéticos fosfatados - P ₂ O ₅ (kg/t de biomassa)	58,77	1,00	27,3	27,5
Fertilizantes sintéticos potássicos - K ₂ O (kg/t de biomassa)	51,80	2,00	28,0	20,0
Fertilizantes orgânicos nitrogenados – vinhaça (L/t de biomassa)	n.a.	1000	n.a.	n.a
Concentração de nitrogênio na vinhaça (g N/L vinhaça)	n.a.	0,38	n.a.	n.a
Fertilizantes orgânicos nitrogenados – torta filtro (kg/t de biomassa)	n.a.	42,80	n.a.	n.a
Concentração de nitrogênio na torta de filtro (g N/kg torta)	n.a.	2,80	n.a.	n.a
Cinzas (kg/t de biomassa)	n.a.	10,10	n.a.	n.a
Combustível diesel B10 (kg/t de biomassa)	17,36	6,00	12,0	-
Combustível diesel (kg/t de biomassa)	n.a.	n.a.	n.a.	10,5
GLP (L/t de biomassa)	n.a.	n.a.	n.a.	4,0
Eletricidade (kWh/t de biomassa)	n.a.	n.a.	n.a.	12,0

* n.a. – não se aplica

Os valores das emissões de GEE (denominadas de intensidade de carbono – IC na RenovaCalc) para o dado “padrão” (Tabela 1) em relação ao perfil “típico” das biomassas, usando produtividades médias, encontram-se na **Tabela 2**. A razão ou fator de penalização envolvendo a IC do dado “padrão” dividido pela IC do perfil “típico” foi de **1,84** vezes para soja, **1,94** vezes para cana, **2,2** vezes para milho nacional e **2,3** vezes para o milho usado no etanol importado, em simulações usando uma área de 100 ha e valores de produtividade média brasileira do período de implantação da política e a produtividade média americana (USDA, 2025). A diferença nos valores das penalidades entre as biomassas era esperada, considerando que os consumos de insumos e sua variação diferem com a tecnologia adotada para cada cultura. Entretanto, essa diferença trouxe questionamentos e a solicitação, junto à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), de isonomia de tratamento entre as biomassas.

Tabela 2. Intensidades de carbono (IC) da cana-de-açúcar, soja e milho dos perfis “típico” e “padrão” de produção em nível nacional, adotados na RANP-758 (RenovaCalc 7.0 para cana, milho e milho I e 8.1 para soja).

Informações	Soja	Cana	Milho	Milho I
Produtividade média (t/ha)	3,03	68,67	6,20	11,09
IC perfil típico (kgCO _{2eq} /t biomassa)	383,47	33,48	253,50	292,03
IC Perfil “padrão” (kgCO _{2eq} /t biomassa)	707,03	65,10	557,80	657,23

Os estudos de regionalização dos perfis de produção típicos para soja (Ramos et al., 2023), cana-de-açúcar (Ramos et al., 2024a) e milho (Ramos et al., 2024b), bem como as informações da plataforma GREET, que contém o perfil do milho e sorgo americanos (referência para o milho usado no etanol importado da RenovaCalc) foram utilizados como base para revisitar a penalização para a composição do “dado penalizado” na atualização da RenovaCalc. Adicionalmente, foram incluídas simulações de valores o sorgo nacional e sorgo usado no etanol importado, que entrarão também nesta atualização. Assim, este estudo teve como objetivo simular propostas de fatores de penalização sobre os dados típicos das biomassas presentes na RenovaCalc, que possuem campos de preenchimento para dados primários e penalizados na etapa agrícola.

2. Metodologia

O estudo propôs a alteração na metodologia de aplicação de penalidades para compor o dado “padrão” da RenovaCalc, considerando o uso de fator único aplicado diretamente à IC do perfil “típico” da produção agrícola, independentemente da biomassa, ao invés da premissa anterior de usar os valores superiores de cada parâmetro. Para isso, foram testados 6 fatores: “IC-típico x 1,5”, “IC-típico x 1,6”, “IC-típico x 1,7” “IC-típico x 1,8”, “IC-típico x 1,9” e “IC-típico x 2,0”. A proposta dos valores foi feita pela ANP e MME, considerando os dados da Tabela 2.

As IC dos perfis típicos de soja (Ramos et al., 2023), cana (Ramos et al., 2024 a), milho (Ramos et al., 2024 b) e sorgo (*em elaboração*) em nível estadual foram multiplicadas por cada um desses fatores, considerando a versão atual da RenovaCalc (7.0 para cana e milho e 8.1 para soja) e uma versão com atualizações de *background* (3.11 do ecoinvent). Posteriormente, os

Meio Ambiente

valores foram comparados às IC dos dados “padrão” em escala nacional para as culturas nacionais e com o perfil anterior do milho usado no etanol importado, estabelecidos na RANP-758 (ANP, 2018) para esta biomassa.

Adicionalmente, para as biomassas nacionais foi realizada uma análise comparativa entre os valores penalizados com menor IC e dados originais, quando disponíveis. Os dados originais de cana vieram dos dados primários do banco de dados da RenovaCalc (fonte interna ANP) e os de soja e milho vieram de um banco de dados vindo de projetos da Embrapa. Estes dados originais passaram por uma análise de estatística descritiva usando método *outliers* pelo quartil (Barbato et al., 2011), com a finalidade de excluir IC *outliers*.

Não foi realizada esta análise comparativa com a estatística descritiva para o sorgo nacional, nem para o milho e sorgo usados no etanol importado, devido à ausência de informações primárias, tanto vindas da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), como dos bancos de dados nacionais e internacionais. No caso do sorgo, a proposição de entrada como biomassa na RenovaCalc é recente, enquanto a atualização do perfil das biomassas importadas foi baseada na ferramenta de contabilidade de carbono GREET, versão 2023 (Liu et al., 2023).

A **Tabela 3** apresenta a estatística descritiva para os dados originais de cana, soja e milho nacionais, com indicações dos valores de IC usados para definir *outliers* (números e porcentagens).

Tabela 3. Médias e limites para a intensidade de carbono (IC) da cana-de-açúcar (dados primários RenovaCalc), soja e milho (dados originais de projetos Embrapa).

Informações	Soja	Cana	Milho
Número de observações do banco de dados	605	1709	260
IC médio (kgCO _{2eq} /t biomassa)	350,68	33,88	361,91
Desvio padrão (kgCO _{2eq} /t biomassa)	225,03	13,02	209,86
IC limite superior (kgCO _{2eq} /t biomassa)	614,15	50,23	633,91
IC limite inferior (kgCO _{2eq} /t biomassa)	14,07	15,51	74,28
Número de valores <i>outliers</i> superiores	47 (8%)	66 (4%)	8 (3%)
Número de valores <i>outliers</i> inferiores	0	34 (2%)	0

3. Resultados

3.1. Soja

A aplicação dos fatores fixos de penalidade nas IC levou a diferentes resultados para cada biomassa analisada. No caso da soja, as seis penalizações testadas foram inferiores ao dado “padrão” da RANP-758, na escala nacional e em praticamente todos os estados e versões da RenovaCalc (**Tabela 4**). As únicas exceções foram as IC penalizadas para os estados do Maranhão – MA, Piauí – PI e Tocantins - TO, usando o fator 2,0x, na versão RenovaCalc 9.0. Isto ocorreu porque o valor típico anterior, na escala nacional, possuía uma IC superior à observada na atualização de dados para compor perfis típicos regionais (Ramos et al, 2023).

Por outro lado, a atualização da RenovaCalc, da versão 8.1 (atual) para a versão 9.0, promoveu aumento médio de cerca de 13,8% nas emissões. Os incrementos variaram a depender do perfil de produção da soja de cada estado, considerando a existência de diferenças de consumos, de tipos e de doses de insumos, inclusive pela maior discriminação de fontes dos insumos. Um exemplo desse impacto é a menor IC para GO, na versão 8.1 (atual), enquanto na versão 9.0 a menor IC foi de MG.

Meio Ambiente

Tabela 4. Intensidades de carbono (IC) penalizadas para soja (kg CO_{2eq}/t de soja), considerando simulações em área de 100 ha e produtividades específicas para cada estado.

Estados	Intensidade de carbono – RenovaCalc 8.0								Intensidade de carbono – RenovaCalc 9.0 (ecoinvent 11.0)							
	Típico regional	Padrão** RANP758	Típico x1,5	Típico x1,6	Típico x1,7	Típico x1,8	Típico x1,9	Típico x2,0	Típico regional	Típico x1,5	Típico x1,6	Típico x1,7	Típico x1,8	Típico x1,9	Típico x2,0	
MT (28%*)	288,91	707,03	433,36	462,25	491,14	520,03	548,92	577,81	346,43	519,65	554,29	588,94	623,58	658,22	692,87	
PR (15%*)	268,13	707,03	402,19	429,01	455,82	482,63	509,44	536,26	325,16	487,73	520,25	552,76	585,28	617,80	650,31	
RS (14%*)	317,71	707,03	476,56	508,33	540,11	571,88	603,65	635,42	353,51	530,27	565,62	600,97	636,32	671,68	707,09***	
GO (10%*)	274,38	707,03	411,58	439,01	466,45	493,89	521,33	548,77	326,71	490,07	522,74	555,41	588,08	620,76	653,43	
MS (9%*)	277,77	707,03	416,65	444,43	472,20	499,98	527,76	555,53	331,68	497,52	530,68	563,85	597,02	630,18	663,36	
MG (5%*)	278,45	707,03	417,67	445,52	473,36	501,20	529,05	556,89	310,25	465,37	496,39	527,42	558,44	589,47	620,49	
BA (5%*)	286,65	707,03	429,97	458,63	487,30	515,96	544,63	573,29	338,54	507,81	541,67	575,52	609,37	643,23	677,08	
SP (3%*)	297,14	707,03	445,71	475,43	505,14	534,86	564,57	594,28	340,98	511,48	545,57	579,77	613,77	647,87	681,97	
TO (3%*)	318,69	707,03	478,04	509,91	541,78	573,65	605,52	637,39	358,82	538,23	574,11	609,99	645,87	681,75	717,64	
MA (3%)	315,17	707,03	472,76	504,27	535,79	567,31	598,83	630,34	361,02	541,54	577,64	613,74	649,84	685,94	722,05	
PI (2%*)	315,17	707,03	472,76	504,27	535,79	567,31	598,83	630,34	361,02	541,54	577,64	613,74	649,84	685,94	722,05	
SC (2%*)	317,71	707,03	476,56	508,33	540,11	571,88	603,65	635,42	353,51	530,27	565,62	600,97	636,32	671,68	707,09	
PA (2%*)	288,91	707,03	433,36	462,25	491,14	520,03	548,92	577,81	346,43	519,65	554,29	588,94	623,58	658,22	692,87	
RO (1%*)	288,91	707,03	433,36	462,25	491,14	520,03	548,92	577,81	346,43	519,65	554,29	588,94	623,58	658,22	692,87	
Demais	315,17	707,03	472,76	504,27	535,79	567,31	598,83	630,34	361,02	541,54	577,64	613,74	649,84	685,94	722,05	

** Representatividade da produção da soja deste estado, com relação à produção nacional, no ano de levantamento de dados.

** Destaque (amarelo) para a IC do dado “padrão” da RANP-758.

*** Destaque (vermelho claro) para a IC com maior valor em relação ao dado “padrão” da RANP-758.

O limite superior da IC de 614,15 kgCO_{2eq}/t de soja, obtido na estatística descritiva de dados originais (Tabela 3), foi tratado como um balizador para se propor uma penalidade segura para a RenovaBio, considerando a premissa de evitar que os perfis penalizados sejam mais baixos que as situações reais dos produtores. Assim, todos os valores penalizados que estão acima da IC de 614,15 kgCO_{2eq}/t de soja podem ser considerados seguros para a política.

A **Tabela 5** traz a comparação dos valores penalizados do estado de MG, com menores IC penalizadas (Tabela 4), com o limite superior da IC de soja de dados reais de 614,15 kgCO_{2eq}/t de soja (Tabela 3). Também apresenta a porcentagem de produtores que poderiam ter sua IC real acima da IC penalizada proposta. Verifica-se que apenas a penalização de 2,0x não apresenta nenhum dado acima desse limite superior real; entretanto, as IC geradas com os demais fatores apresentam um padrão de segurança que pode ser aceitável, com chance de até 11% de um produtor ter um perfil superior ao penalizado com o fator de 1,5x.

Tabela 5. Intensidades de carbono penalizadas para o perfil de produção de soja no estado de Minas Gerais e limite superior de intensidade de carbono de caso real de produção de soja com alta emissão.

Fator de penalização	IC (kg CO _{2eq} /t de soja) penalizado de Minas Gerais	N produtores com dados reais que estariam acima do penalizado	% de produtores acima do IC penalizado
Limite superior de IC real de soja	614,15		
2,0x penalização	620,49	0	0%
1,9x penalização	589,47	6	1%
1,8x penalização	558,44	22	4%
1,7x penalização	527,42	37	6%
1,6x penalização	496,39	51	8%
1,5x penalização	465,37	65	11%
RANP758	707,03	0	0%

3.2. Cana-de-açúcar

No caso da cana-de-açúcar (**Tabela 6**), a maioria dos fatores de penalização estudados levou ao aumento das IC em relação ao dado “padrão” usado na RANP-758. O aumento generalizado das IC penalizadas foi reflexo, tanto da atualização dos perfis típicos

Meio Ambiente

regionalizados, obtidos a partir do banco de dados primários certificados da própria RenovaCalc (Ramos et al, 2024 a), como da atualização da versão da RenovaCalc.

A nova versão da RenovaCalc (versão 8.0) resultou em um aumento médio de 10% nas emissões da cana-de-açúcar, em relação à versão 7.0 (atual). Os incrementos variaram a depender do perfil de produção da cana-de-açúcar de cada estado, considerando as diferenças de tipos e doses de insumos, inclusive pela maior discriminação de fontes dos insumos. Um exemplo desse impacto é a maior IC para a BA, na versão 7.0 (atual), enquanto na versão 8.0 a maior IC foi para a PB.

Tabela 6. Intensidades de carbono (IC) penalizadas para cana-de-açúcar (kg CO_{2eq}/t de cana-de-açúcar), considerando simulações em área de 100 ha e produtividades, relativas ao hectare médio, específicas para cada estado.

Estados	Intensidade de carbono – RenovaCalc 7.0							Intensidade de carbono – RenovaCalc 8.0 (ecoinvent 11.0)							
	Típico regional	Padrão** RANP758	Típico x1,5	Típico x1,6	Típico x1,7	Típico x1,8	Típico x1,9	Típico x2,0	Típico regional	Típico x1,5	Típico x1,6	Típico x1,7	Típico x1,8	Típico x1,9	Típico x2,0
SP (57%*)	38,88	65,10	58,32	62,21	66,10***	69,98	73,87	77,76	41,76	62,64	66,82	70,99	75,17	79,35	83,52
GO (10%*)	34,45	65,10	51,68	55,12	58,57	62,01	65,46	68,90	37,36	56,03	59,77	63,50	67,24	70,98	74,71
MG (10%*)	40,46	65,10	60,68	64,73	68,78	72,82	76,87	80,91	45,69	68,53	73,10	77,67	82,24	86,81	91,38
MS (7%*)	39,99	65,10	59,98	63,98	67,98	71,98	75,98	79,97	46,63	69,95	74,61	79,28	83,94	88,60	93,27
PR (5%*)	38,86	65,10	58,29	62,17	66,06	69,94	73,83	77,71	44,92	67,38	71,87	76,37	80,86	85,35	89,84
MT (3%*)	41,30	65,10	61,96	66,09	70,22	74,35	78,48	82,61	43,19	64,78	69,10	73,42	77,74	82,06	86,37
AL (2%*)	44,42	65,10	66,64	71,08	75,52	79,96	84,41	88,85	49,96	74,94	79,94	84,93	89,93	94,93	99,92
PE (2%*)	43,23	65,10	64,85	69,17	73,49	77,81	82,14	86,46	47,73	71,59	76,37	81,14	85,91	90,69	95,46
PB (1%*)	45,50	65,10	68,26	72,81	77,36	81,91	86,46	91,01	53,78	80,67	86,05	91,43	96,81	102,18	107,56
BA (1%*)	46,65	65,10	69,98	74,65	79,31	83,98	88,64	93,31	48,93	73,39	78,28	83,18	88,07	92,96	97,85
Demais	46,65	65,10	69,98	74,65	79,31	83,98	88,64	93,31	53,78	80,67	86,05	91,43	96,81	102,18	107,56

* Representatividade da produção da cana-de-açúcar deste estado, com relação à produção nacional, no ano de levantamento de dados.

** Destaque (amarelo) para a IC do dado “padrão” da RANP-758.

*** Destaque (vermelho claro) para a IC com maior valor em relação ao dado “padrão” da RANP-758.

O limite superior da IC de 50,23 kgCO_{2eq}/t de cana-de-açúcar, obtida na estatística descritiva de dados originais (Tabela 3), foi tratado como um balizador para se propor uma penalidade segura para a RenovaBio, considerando a premissa de evitar que os perfis penalizados sejam mais baixos que as situações reais dos produtores. Assim, todos os valores penalizados que estão acima da IC de 50,23 kgCO_{2eq}/t de cana-de-açúcar podem ser considerados seguros para a política.

A **Tabela 7** traz a comparação dos valores penalizados do estado de GO, com menores IC penalizadas (Tabela 6), com o limite superior da IC de cana-de-açúcar de dados reais de 50,23 kgCO_{2eq}/t de cana-de-açúcar (Tabela 3). Também apresenta a porcentagem de produtores que poderiam ter sua IC acima da IC penalizada proposta. Verifica-se que todas as penalizações propostas estão acima do limite superior real, garantindo um padrão de segurança aceitável para representar produtores que não declarem seus dados primários.

Tabela 7. Intensidades de carbono penalizadas para o perfil de produção da cana-de-açúcar no estado de Goiás; limite superior de intensidade de carbono de caso real de produção de cana-de-açúcar com alta emissão.

Fator de penalização	IC (kg CO _{2eq} /t de cana) penalizado de Goiás	N produtores com dados reais que estariam acima do penalizado	% de produtores acima do IC penalizado
Limite superior de IC real de cana	50,23		
2,0x penalização	74,71	0	0%
1,9x penalização	70,98	0	0%
1,8x penalização	67,24	0	0%
1,7x penalização	63,50	0	0%
1,6x penalização	59,77	0	0%
1,5x penalização	56,03	0	0%
RANP758	65,10	0	0%

3.3. Milho Nacional

A proposição de fatores de penalização para o milho encontra-se na **Tabela 8**. Os valores de IC penalizados variaram a depender do estado e da versão da RenovaCalc (versão 7.0 - atual) ou versão 8.0). Os estados de Mato Grosso - MT (principal produtor de milho do BR) e Goiás - GO apresentaram IC penalizadas abaixo do valor “padrão” da RANP-758, em todas as situações propostas. Cabe destacar que, para o milho, a atualização da RenovaCalc praticamente não impactou as IC dos estados. O valor médio de impacto foi de cerca de 2%, ao passar da versão 7.0 (atual) para a versão 8.0.

Tabela 8. Intensidades de carbono (IC) penalizadas para milho (kg CO_{2eq}/t de milho), considerando simulações em área de 100 ha e produtividades específicas para cada estado.

Estados	Intensidade de carbono – RenovaCalc 7.0								Intensidade de carbono – RenovaCalc 8.0 (ecoinvent 11.0)							
	Típico regional	Padrão** RANP758	Típico	Típico	Típico	Típico	Típico	Típico	Típico regional	Típico	Típico	Típico	Típico	Típico	Típico	
			x1,5	x1,6	x1,7	x1,8	x1,9	x2,0		x1,5	x1,6	x1,7	x1,8	x1,9	x2,0	
MT (33%*)	253,03	557,25	379,55	404,85	430,15	455,45	480,76	506,06	256,15	384,23	409,84	435,46	461,07	486,69	512,30	
PR (15%*)	298,99	557,25	448,49	478,38	508,28	538,18	568,1***	597,98	312,93	469,39	500,69	531,98	563,27	594,57	625,86	
GO (12%*)	256,36	557,25	384,54	410,18	435,81	461,45	487,08	512,72	261,10	391,66	417,77	443,88	469,99	496,10	522,21	
MS (9%*)	347,02	557,25	520,54	555,24	589,94	624,64	659,34	694,04	355,15	532,72	568,23	603,75	639,26	674,78	710,29	
MG (8%*)	294,95	557,25	442,42	471,92	501,41	530,91	560,41	589,9	306,48	459,72	490,36	521,01	551,66	582,31	612,95	
RS (5%*)	289,43	557,25	434,15	463,09	492,03	520,97	549,92	578,86	304,39	456,58	487,02	517,46	547,89	578,33	608,77	
SP (4%*)	278,69	557,25	418,04	445,9	473,77	501,64	529,51	557,38	289,68	434,52	463,49	492,46	521,43	550,40	579,36	
SC (3%*)	289,43	557,25	434,14	463,08	492,03	520,97	549,92	578,86	304,39	456,58	487,02	517,46	547,89	578,33	608,77	
BA (2%*)	392,6	557,25	588,9	628,16	667,42	706,68	745,94	785,2	399,36	599,04	638,98	678,91	718,85	758,78	798,72	
MA (2%*)	390,64	557,25	585,97	625,03	664,1	703,15	742,22	781,28	409,30	613,95	654,88	695,81	736,74	777,67	818,60	
PI (2%*)	352,04	557,25	528,05	563,26	598,46	633,67	668,88	704,08	360,31	540,46	576,49	612,52	648,55	684,58	720,61	
TO (1%*)	320,72	557,25	481,08	513,15	545,22	577,3	609,37	641,44	330,37	495,55	528,59	561,62	594,66	627,70	660,73	
RO (1%*)	275,48	557,25	413,22	440,77	468,32	495,86	523,41	550,92	279,23	418,84	446,76	474,68	502,61	530,53	558,45	
PA (1%*)	401,69	557,25	602,54	642,7	682,87	723,04	763,21	803,38	410,62	615,93	657,00	698,06	739,12	780,18	821,25	
Demais	401,69	557,25	602,54	642,7	682,87	723,04	763,21	803,38	410,62	615,93	657,00	698,06	739,12	780,18	821,25	

* Representatividade da produção do milho deste estado, com relação à produção nacional, no ano de levantamento de dados.

** Destaque (amarelo) para a IC do dado “padrão” da RANP-758.

*** Destaque (vermelho claro) para a IC com maior valor em relação ao dado “padrão” da RANP-758.

O limite superior da IC de 633,91 kgCO_{2eq}/t de milho, obtida na estatística descritiva de dados originais (Tabela 3), foi tratado como um balizador para se propor uma penalidade segura para a RenovaBio, considerando a premissa de evitar que os perfis penalizados fossem mais baixos que as situações reais dos produtores. Assim, todos os valores penalizados que estão acima da IC de 633,91 kgCO_{2eq}/t de milho podem ser considerados seguros para a política.

A **Tabela 9** traz a comparação dos valores penalizados do estado de MT, com menores IC penalizadas (Tabela 8), com o limite superior da IC de milho de dados reais de 633,91 kgCO_{2eq}/t de milho (Tabela 3). Também apresenta a porcentagem de produtores que poderiam ter sua IC acima da IC penalizada proposta. Verifica-se a existência de 6% de produtores com dados reais que estariam acima dos limites propostos de penalidade, mesmo para o maior fator (2,0x) de penalidade. Este comportamento não foi observado para soja e cana-de-açúcar.

Tabela 9. Intensidades de carbono penalizadas para o perfil de produção do milho no estado de Mato Grosso; limite superior de intensidade de carbono de caso real de produção de milho com alta emissão.

Fator de penalização	IC (kg CO _{2eq} /t de milho) penalizado de Mato Grosso	N produtores com dados reais que estariam acima do penalizado	% de produtores acima do IC penalizado
Limite superior de IC real milho	633,91		
2,0x penalização	512,30	17	7%
1,9x penalização	489,81	26	10%
1,8x penalização	461,07	41	16%
1,7x penalização	435,46	50	19%
1,6x penalização	409,84	62	24%
1,5x penalização	384,23	80	31%
RANP758	557,25	6	2%

3.4. Sorgo Nacional

A proposição de fatores de penalização para o sorgo nacional, usado para a produção de etanol, encontra-se na **Tabela 10**. O sorgo não constava como biomassa elegível na versão anterior da RenovaCalc, assim os valores penalizados seguem apenas na versão RenovaCalc 9.0. Há diferenças nos valores das IC penalizadas, a depender do perfil de produção de cada estado (Ramos et al, 2025). No caso, o estado com menor IC foi SP, seguido de GO e MG.

Não foi realizado o estudo comparativo entre as penalizações propostas e dados originais do sorgo, como feito para soja, cana-de-açúcar e milho nacionais, pois não foram encontrados dados originais disponíveis.

Tabela 10. Intensidades de carbono (IC) penalizadas para sorgo (kg CO_{2eq}/t de sorgo), considerando simulações em área de 100 ha e produtividade de 11,09 t/ha - escala nacional.

Estados	Intensidade de carbono – RenovaCalc 9.0						
	Típico regional	Típicox1,5	Típicox1,6	Típicox1,7	Típicox1,8	Típicox1,9	Típicox2,0
GO (36%*)	289,52	434,28	463,23	492,18	521,13	550,08	579,04
MG (26%*)	290,90	436,35	465,44	494,53	523,62	552,71	581,80
SP (10%*)	219,52	329,28	351,23	373,18	395,14	417,09	439,04
MS (8%*)	285,51	428,25	456,80	485,35	513,90	542,45	571,00
MT (4%*)	335,60	503,39	536,95	570,51	604,07	637,63	671,19
BA (4%*)	331,56	497,33	530,59	563,65	596,80	629,96	663,11
PI (2%*)	361,73	542,59	578,76	614,93	651,11	687,28	723,45
MA (1%*)	361,73	542,59	578,76	614,93	651,11	687,28	723,45
Demais	361,73	542,59	578,76	614,93	651,11	687,28	723,45

* Representatividade da produção de sorgo deste estado, com relação à produção nacional, no ano de levantamento de dados.

3.5. Milho usado no etanol importado

A proposição de fatores de penalização para o milho usado no etanol importado encontra-se na **Tabela 11**. Como não existem dados para propor uma regionalização, os valores considerados vieram do GREET, considerando a escala nacional de produção do país produtor. Observou-se um aumento muito sensível na IC para o perfil típico anterior para o atualizado, devido à versão mais atual do GREET (2023), que foi usada como base de referência para o perfil agrícola de produção do milho.

Meio Ambiente

Não foi realizado o estudo comparativo entre as penalizações propostas e dados originais do milho usado no etanol importado, pois não foram encontrados dados originais disponíveis. Entretanto, quando se observam os fatores penalizados do presente estudo, nota-se que nenhuma das penalidades propostas está acima do dado padrão da RANP-758 (Tabela 11).

Tabela 11. Intensidades de carbono (IC) penalizadas para milho usado no etanol importado (kg CO_{2eq}/t de milho), considerando simulações em área de 100 ha e produtividade de 11,09 t/ha - escala nacional.

Perfis	IC – RenovaCalc 7.0	IC – RenovaCalc 9.0
Típico	292,03	296,55
Padrão RANP758	657,23*	-
Típicox1,5	438,05	444,83
Típicox1,6	467,25	474,49
Típicox1,7	496,65	504,14
Típicox1,8	525,65	533,80
Típicox1,9	554,86	563,45
Típicox2,0	584,06	593,11

*Destaque (amarelo) para a IC do dado “padrão” da RANP-758.

3.6. Sorgo usado no etanol importado

A proposição de fatores de penalização para o sorgo usado no etanol importado encontra-se na **Tabela 12**. Como não existem dados para propor uma regionalização, os valores considerados vieram do GREET (2023), considerando a escala nacional de produção do país produtor. Assim como para o sorgo nacional, o sorgo usado no etanol importado não existia anteriormente na RenovaCalc, e, portanto, não possuía um perfil penalizado. As penalizações estão propostas sobre o valor que entrará em vigor, na próxima versão da calculadora.

Não foi realizado o estudo comparativo entre as penalizações propostas e dados originais do sorgo usado no etanol importado, pois não foram encontrados dados originais disponíveis.

Tabela 12. Intensidades de carbono (IC) penalizadas para sorgo usado no etanol importado (kg CO_{2eq}/t de sorgo), considerando simulações em área de 100 ha e produtividade de 5,13 t/ha - escala nacional.

Perfis	IC – RenovaCalc 9.0
Típico	301,46
Típicox1,5	452,19
Típicox1,6	482,34
Típicox1,7	512,49
Típicox1,8	542,63
Típicox1,9	527,78
Típicox2,0	602,93

4. Considerações finais

- O uso do termo “dado penalizado” em substituição ao termo “dado padrão” comunica melhor o conteúdo que este tipo de dado representa, tanto para profissionais da área como para a sociedade em geral, assim optou-se pelo uso deste novo termo.
- A alteração na metodologia de proposição da penalidade para compor o dado “penalizado” das biomassas da RenovaBio, considerando um fator único aplicado diretamente na IC do perfil “típico”, ao invés dos valores superiores de cada parâmetro do perfil agrícola, atende ao objetivo de garantir emissões seguras para a política.
- O impacto dos fatores de penalização testados (1,5x, 1,6x, 1,7x, 1,8x, 1,9x e 2,0x) variou conforme a biomassa e a versão da RenovaCalc estudada.
- A soja apresentou redução da IC penalizada para quase todos os fatores de penalidade, em comparação à RANP-758, com raras exceções observadas para a penalidade 2,0x. A principal razão para esse resultado foi a redução significativa da IC dos seus perfis típicos, obtidos nos estudos de regionalização.
- A cana-de-açúcar apresentou aumento da IC penalizada para praticamente todos os fatores de penalidade, com raras exceções observadas em alguns estados estudados. A razão principal para esse resultado também foi a mudança no perfil típico dos estados, trazida com a regionalização, que aumentou as emissões.
- O milho nacional apresentou variação na IC penalizada, dependendo do estado e do fator de penalidade simulado. Diferentemente da soja e da cana, a IC do perfil regionalizado do milho impactou pouco o resultado e a penalização se alterou mesmo com a aplicação dos fatores de penalidade.
- A mudança na penalização das biomassas impacta diferentes aspectos da Política RenovaBio, como por exemplo a quantidade de CBIOs emitidos e o alcance das metas de descarbonização, pois altera as notas de eficiência energético-ambientais - NEEAs das biomassas participantes (soja, cana-de-açúcar, milho nacional, sorgo nacional, milho e sorgo usados no etanol importado) que usem dados “penalizados”. As biomassas possuem diferentes volumes de certificação na RenovaBio e diferentes graus de uso de dados “penalizados”. Por exemplo, o etanol de cana responde atualmente pelo maior volume de CBIOs da RenovaBio e usa um volume significativo de dados



Meio Ambiente

agrícolas primários, enquanto as usinas de biodiesel usam somente dados “penalizados” para a soja.

5. Conclusão

A adoção de um fator único de penalidade aplicado diretamente na IC, para compor o dado “penalizado” das biomassas, torna simples a operacionalização na RenovaCalc e tem potencial de facilitar sua comunicação aos diversos atores.

O fator de penalidade deve variar a depender do percentual de produtores que podem ser tolerados com perfis de emissão acima dos limites de penalidade adotados. Esta variação do fator entre as biomassas é justificável e recomendável.

Referências

- BARBATO, G; BARINI, E. M.; GENTA, G; LEVI, R. FEATURES AND PERFORMANCE OF SOME OUTLIER DETECTION METHODS. *Journal of Applied Statistics*. 38, N. 10, P. 2133–2149, 2011. DOI: 10.1080/02664763.2010.545119.
- BRASIL. LEI Nº 13.576, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2017. DISPÕE SOBRE A POLÍTICA NACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS (RENOVABIO) E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO: SEÇÃO 1, BRASÍLIA, DF, ANO 154, N. 247, P. 4, 27 DEZ. 2017.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. **ISO 14040:** Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework: ISO, 2006a.
- _____. **ISO 14044:** Environmental Management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines: ISO, 2006b.
- _____. **ISO 14067:** Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification: ISO, 2018.
- LIU, Xinyu; CAI, Hao; KWON, Hoyoung; WANG, Michael. Feedstock Carbon Intensity Calculator (FD-CIC). Argonne National Laboratory, Systems Assessment Center, 2023. Disponível em: https://greet.anl.gov/tool_fd_cic. Acesso em: 14/07/2025
- MATSUURA, M.I.S.F.; SCACHETTI, M.T.; CHAGAS, M.F.; SEABRA, J.E.A.; MOREIRA, M.M.R.; BONOMI, A.M.; BAYMA, G.; ÍCOLI, J.F.; MORANDI, M.A.B.; RAMOS, N.P.; CAVALETT, O.; NOVAES, R.M.L. **RenovaCalc: Método e ferramenta para a contabilidade da Intensidade de Carbono de Biocombustíveis no Programa RenovaBio.** Nota Técnica, março 2018, 58p. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/consultas-e-audiencias-publicas/consulta-audiencia-publica/arquivos-consultas-e-audiencias-publicas-2018/cap-10-2018/cp10-2018_nota-tecnica-renova-calc.pdf
- RAMOS, N.P.; FOLEGATTI M.I.S.; BAYMA, G.; NOVAES, R.M.L.; MORANDI, M.A.B.; PIGHINELLI, A.L.M.T.; MENDES, N.C.; SAVIOLI, J.P.P.D.; DEBISI, H.; BALBINOTI JR, A.A. **Regionalização dos perfis típicos de produção de soja para uso no RenovaBio.** 38p. 2023. Acesso em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/arq/regionalizacaosojarenovabio.pdf>
- RAMOS, N.P.; MENDES, N.C.; FOLEGATTI, M.I.S.; BAYMA, G.; NOVAES, R.M.L.; MORANDI, M.A.B.; PIGHINELLI, A.L.M.T.; SAVIOLI, J.P.P.D.; BUFFON, V.B. **Regionalização dos perfis típicos de produção de cana-de-açúcar para uso no RenovaBio.** 32p. 2024a. Acesso em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/arq/arquivos-estudos-relatorio-e-seminarios/relatoriofinalcanadeacucar.pdf>
- RAMOS, N.P.; MENDES, N.C.; FOLEGATTI, M.I.S.; BAYMA, G.; NOVAES, R.M.L.; PIGHINELLI, A.L.M.T.; MORANDI, M.A.B.; SAVIOLI, J.P.P.D.; MIRANDA, R.A.; SILVA, A.F. **Regionalização dos perfis típicos de produção de milho para uso no RenovaBio.** 41p. 2024b. Acesso em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/arq/arquivos-estudos-relatorio-e-seminarios/relatorio-final-regionalizacao-perfis-tipicos-producao-milho.pdf>
- RAMOS, N.P.; SILVA, A.F.; MACIEL, V.G.; MAGALHAES, C.A.S.; SILVA, A.R.; SABAINI, P.S.; PIGHINELLI, A.L.M.T.; SIMEONE, M.L.F.; FOLEGATTI M.I.S.; SAVIOLI, J.P.P.D. **Sorgo granífero como biomassa para uso em rotas de etanol no RenovaBio.** 2025. Acesso em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/>



Meio Ambiente

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. *National Agricultural Statistics Service – Corn (Maize) Statistics.* Washington, D.C.: USDA, [s.d.]. Disponível em: https://www.nass.usda.gov/Statistics_by_Subject/result.php?DCAD8C75-8781-3B95-8A83-FFC9E2E0173E§or=CULTURAS&group=CULTURAS%20AGR%C3%8DCOLAS&comm=MILHO. Acesso em: 15 agosto 2025.