

## Cenários de Mudanças Climáticas

*Material elaborado por Wagner Soares, IEC-ES*

As mudanças climáticas globais (ODS 13 da Agenda 2030 da ONU), tema amplamente debatido principalmente durante as duas últimas décadas, foco de diversos estudos científicos e relatórios direcionados para tomadores de decisão como aqueles elaborados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), vem sinalizando que o combate à crise climática requer o atingimento das metas estabelecidas no Acordo de Paris de manter o aquecimento global abaixo de 2°C, possivelmente menor de 1,5°C para redução de riscos.

**Cenários futuros de mudanças Climáticas** são representações plausíveis das emissões futuras de Gases de Efeito Estufa (GEE) baseados em um conjunto de suposições coerentes e fisicamente consistentes sobre suas forçantes radioativas, tais como demografia, desenvolvimento sócio-econômico e mudanças tecnológicas. O relatório AR5 do IPCC de 2013 introduziu os novos cenários RCPs (Representative Concentration Pathways) mostrados na figura 1.

Esses cenários foram desenvolvidos no âmbito do projeto CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) que levam em conta os impactos das emissões, ou seja, o quanto haverá de alteração no balanço de radiação no sistema terrestre que substituíram os cenários SRES (figura 1) utilizados no relatório anterior (TAR). Já o próximo relatório do IPCC que deve ser publicado em 2022, além de manter os RCPs em uma nova versão (figura 2), contempla cenários que incluem o sequestro de carbono: os SSPs (Shared Socio-Economic Pathways) do CMIP6/IPCC-AR6 (figura 2).

Os RCPs são identificados por sua forçante radiativa total, expressa em  $W/m^2$ , a ser atingida durante ou próximo ao final do século XXI. Cada RCP provê conjuntos de dados, espacialmente distribuídos, de mudanças no uso da terra e de emissões setoriais de poluentes do ar e especifica as concentrações anuais de gases de efeito estufa e as emissões antropogênicas até o ano 2100. Assim, grupos de estudo interdisciplinares elaboraram os cenários RCPs que usam um sistema mais completo levando em conta os impactos das emissões, ou seja, o quanto haverá de alteração no balanço de radiação no sistema terrestre. Os principais cenários RCPs são: RCP 2.6 (Baixas emissões), RCPs 4.5 e 6.0 (estabilização de médias emissões de GGE) e o RCP 8.5 (altas emissões).

A seguir são mostradas as características primárias dos cenários RCPs que podem ser observadas na figura 1.

**RCP 2.6** - É um cenário desenvolvido pela equipe de modelagem IMAGE da PBL (Netherlands Environmental Assessment Agency). Este caminho de emissão é representativo de cenários da literatura que levam a níveis de concentração de gases estufa muito baixos. Este é um cenário mais otimista de “pico-declino”. Seu nível de

forçamento radiativo primeiro atinge um valor de cerca de 3,1 W/m<sup>2</sup> até meados do século, e retorna para 2,6 W/m<sup>2</sup> até 2100. Para alcançar tais níveis de forçamento radiativo, as emissões de gases de estufa (e indiretamente emissões de poluentes atmosféricos) são substancialmente reduzidas, ao longo do tempo.

**RCP 4.5** - É um cenário de estabilização em que a forçante radiativa total é estabilizada pouco depois de 2100, sem ultrapassar o nível alto do longo termo do forçamento radiativo (Clarke et al. 2007; Smith e Wigley 2006; Wise et al. 2009). Foi desenvolvido pela equipe de modelagem do JGCRI (Pacific Northwest National Laboratory's Joint Global Change Research Institute) dos EUA.

**RCP 6.0** - É um cenário desenvolvido pelo time de modelagem AIM do NIES (National Institute for Environmental Studies) do Japão. É um cenário de estabilização em que a forçante radiativa total é estabilizada pouco depois de 2100, através da aplicação de uma série de tecnologias e estratégias para reduzir as emissões de GGE.

**RCP 8.5** - Este RCP é um cenário pessimista e é caracterizada pelo aumento das emissões de gases estufa ao longo do tempo, representando cenários da literatura que levam a altos níveis de concentrações de GGE. E foi desenvolvido usando o modelo MESSAGE e pelo quadro de avaliação integrada do IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) da Áustria.

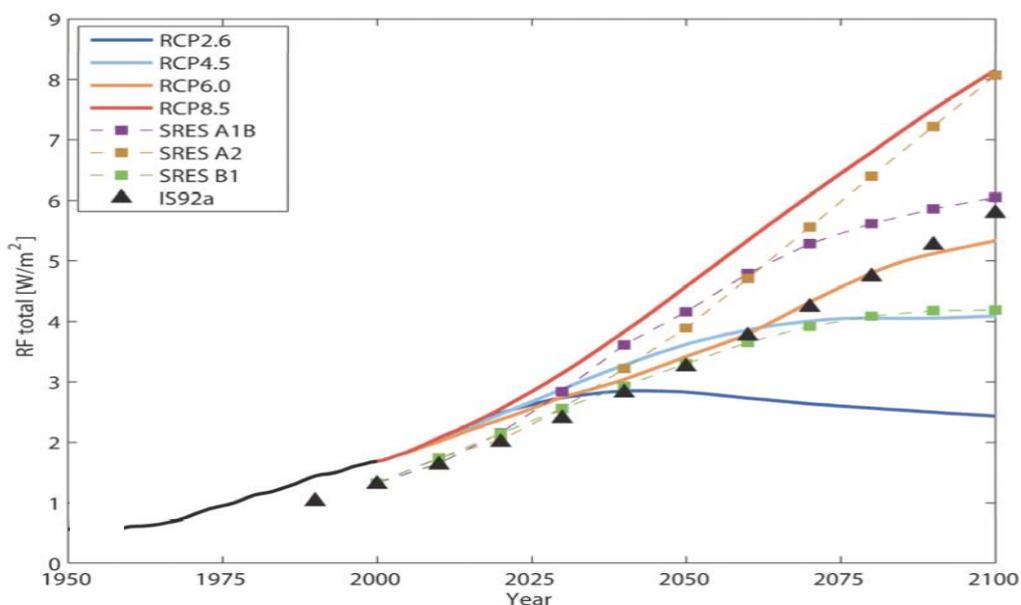


Figura 1. valores da forçante radiativa em W/m<sup>2</sup> dos 4 RCPs (CMIP5, IPCC-AR5) e cenários de relatórios anteriores do IPCC IS92a (SAR), SRES (TAR/AR4).

Na preparação para o IPCC AR6, a comunidade de modelagem de energia desenvolveu um novo conjunto de cenários de emissões impulsionados por diferentes premissas socioeconômicas, que são os SSPs (Shared Socio-Economic Pathways - Caminhos Socioeconômicos Compartilhados) e incluem cenários que consideram emissões negativas de CO<sub>2</sub> por meio da captura desse GGE como os SSP 1.9 e o SSP4-3.4 mostrados na figura 2. Assim, vários desses cenários foram selecionados para conduzir os modelos climáticos do CMIP6. Como dito anteriormente, o IPCC AR5 apresentou os quatro RCPs que examinaram diferentes possíveis emissões futuras de GGE os quais tem novas versões no CMIP6. Esses cenários atualizados são chamados SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP4-6.0 e SSP5-8.5, cada um dos quais resulta em níveis de forçamento radiativo semelhantes aos de seu cenário predecessor (RCP do AR5) em 2100.

O relatório especial Climate Change and Land do IPCC lançado em 2019 examinou várias abordagens de remoção de carbono baseadas no uso da terra, incluindo florestamento e reflorestamento, bioenergia com captura e armazenamento de carbono (BECCS), carbono do solo, biocarvão e intemperização aprimorada, entre outros. Os autores enfatizam que florestamento e reflorestamento, carbono do solo melhorado em áreas agrícolas e pastagens e BECCS têm o maior potencial de remoção de carbono, com viabilidades e impactos diversos.

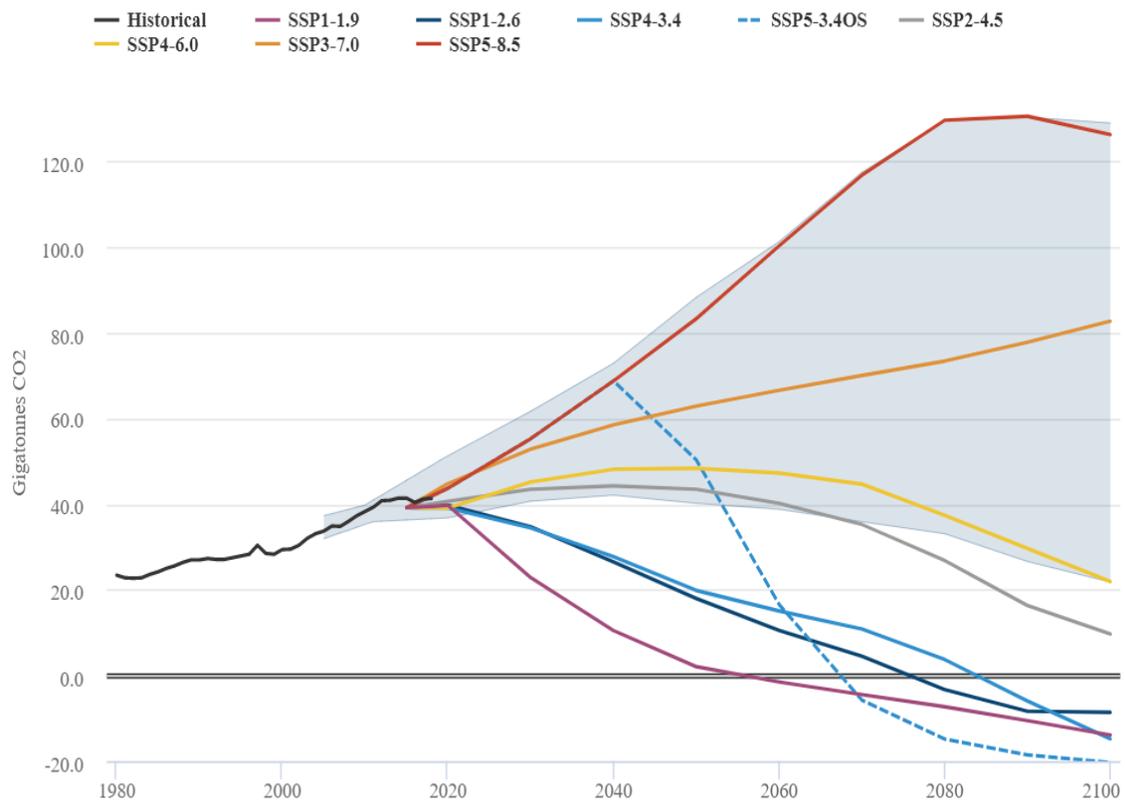
A seguir são mostradas as características primárias dos cenários SSPs que podem ser observadas na figura 2.

**SSP3-7.0** - É um novo cenário que está bem no meio da faixa de resultados de linha de base produzidos por modelos de sistemas de energia. Agora, os cientistas podem examinar os resultados do pior caso (SSP5-8.5), intermediário (SSP3-7.0) e mais otimistas (SSP4-6.0) ao modelar como o planeta pode aquecer em cenários não se consegue implementar nenhuma política climática.

**SSP4-3.4** - É outro novo cenário que tem como objetivo explorar o espaço entre os cenários RCP2.6/SSP1-2.6 e os cenários RCP4.5/SSP2-4.5 até 2100. Isso ajudará os cientistas avaliar melhor os impactos do aquecimento se as sociedades reduzirem rapidamente as emissões, mas não conseguirem mitigar rápido o suficiente para limitar o aquecimento abaixo de 2°C.

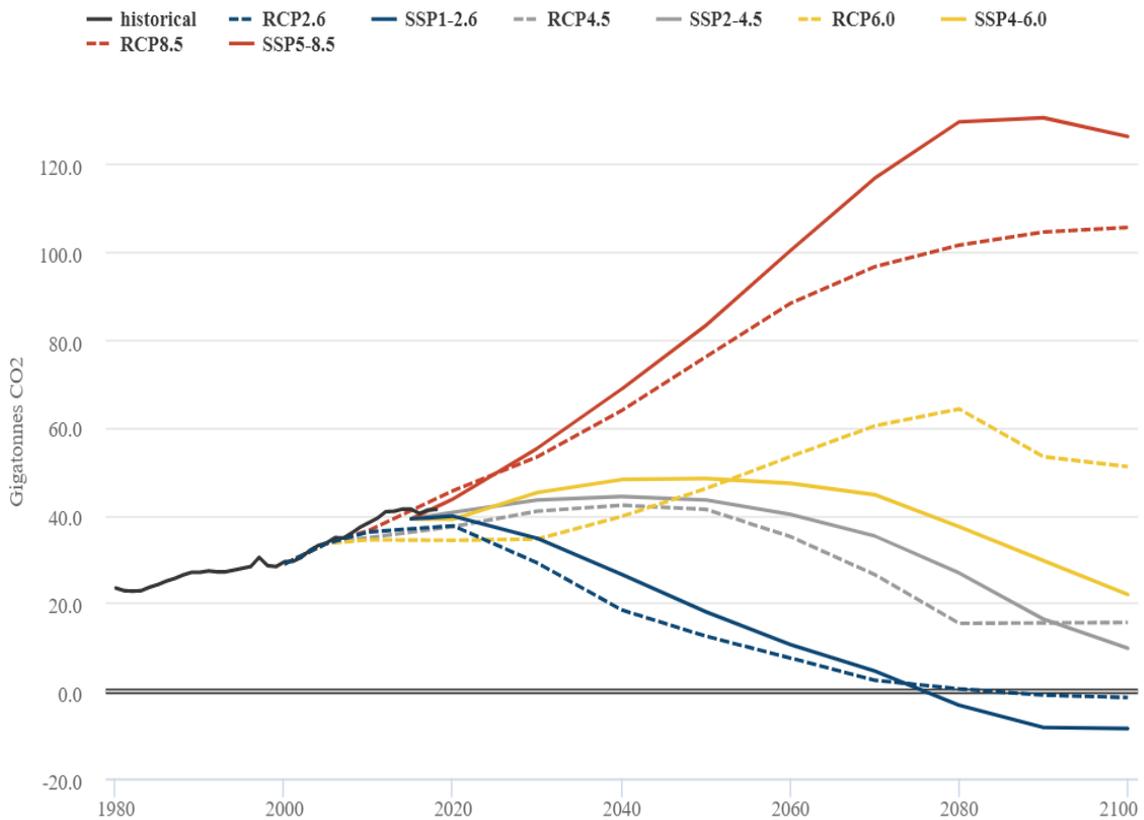
**SSP5-3.4OS** – É um cenário em que as emissões seguem o caminho do pior cenário (SSP5-8.5) até 2040, após o qual diminui extremamente e rapidamente por meio de emissões negativas de CO<sub>2</sub> até o final do século.

**SSP1-1.9** - É um cenário destinado a limitar o aquecimento abaixo de 1.5°C até 2100 acima dos níveis pré-industriais. Foi adicionado na sequência do Acordo de Paris, quando os países concordaram em prosseguir esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C. Os modelos de energia e modelos climáticos simples desenvolvidos para limitar o aquecimento a 1.5°C desempenharam um grande papel no relatório especial sobre 1.5°C que o IPCC publicou em 2018 e permitem que modelos climáticos completos explorem as mudanças climáticas e os impactos em torno de 1.5°C de aquecimento.



**Figura 2.** Emissões de CO<sub>2</sub> em gitoneladas dos cenários SSPs do CMIP6/IPCC-AR6.

A figura 3 mostra os novos cenários do CMIP6 que em 2100 são semelhantes aos RCPs do CMIP5. No entanto, mesmo que sua forçante no fim de século seja a mesma, os caminhos das emissões e a mistura de emissões de CO<sub>2</sub> são diferentes.



**Figura 3.** comparação das emissões de CO<sub>2</sub> nos cenários antigos de RCP (linhas tracejadas) e suas novas contrapartes de SSP (linhas sólidas).

Existem várias razões para as diferenças mostradas na figura 3. Os SSPs começaram em 2014, enquanto os RCPs começaram em 2007. O cenário SSP1-2.6 mostra um declínio mais gradual nas emissões do que RCP 2.6 e um ponto de partida mais alto, refletindo em parte que as emissões de 2007-2014 foi notavelmente maior do que o esperado no cenário RCP2.6 original do CMIP5. Ela emprega substancialmente mais emissões negativas do final do século para compensar o ponto de partida mais alto e o declínio mais lento.

O SSP2-4.5 também mostra um ponto de partida mais alto e declínio ligeiramente mais lento do que o RCP 4.5, embora declínios maiores de emissões não-CO<sub>2</sub> no SSP2-4.5 também desempenhem seu papel. O SSP4-6.0 é bem diferente do RCP6.0, com as emissões de CO<sub>2</sub> atingindo o pico e diminuindo após 2050 em comparação com 2080. Essa mitigação mais rápida compensa as emissões mais altas de curto prazo, embora as emissões de GGE diferentes de CO<sub>2</sub> também desempenhem um papel. Finalmente, o SSP5-8.5 tem emissões de CO<sub>2</sub> substancialmente mais altas do que o RCP 8.5, com cortes correspondentemente maiores nas emissões de não-CO<sub>2</sub>.

## REFERÊNCIAS

- Fujino, J., Nair, R., Kainuma, M., Masui, T., & Matsuoka, Y. (2006). Multi-gas mitigation analysis on stabilization scenarios using AIM global model. *The Energy Journal*, 343-353.
- Hijioka, Y., Y. Matsuoka, H. Nishimoto, M. Masui, and M. Kainuma. (2008). Global GHG emissions scenarios under GHG concentration stabilization targets. *Journal of Global Environmental Engineering* 13, 97-108.
- <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained>
- <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- IPCC 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge, UK and New York, USA, 1552 pp. (2013).
- IPCC 2019: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.
- MOSS, R.H. et al., The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, v. 463, p. 747-756, 2010.
- O'Neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., and Sanderson, B. M.: The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6, *Geosci. Model Dev.*, 9, 3461–3482, <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>, 2016.
- Riahi, K., Grübler, A., & Nakicenovic, N. (2007). Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(7), 887-935.
- Smith, S. J., & Wigley, T. M. L. (2006). Multi-gas forcing stabilization with Minicam. *The Energy Journal*, 373-391.
- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., ... & Masui, T. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change*, 109(1-2), 5.
- WISE, M., CALVIN, K., THOMSON, A., CLARKE, L., BOND-LAMBERTY, B., SANDS, R., ... & EDMONDS, J. (2009). Implications of limiting CO2 concentrations for land use and energy. *Science*, 324(5931), 1183-1186.