

Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico

GT Metodologia

Representação Hidrológica:

Geração de cenários

Sumário

1. Apresentação	3
1.1. Motivação.....	3
1.2. Objetivo	4
2. Resumo executivo	6
3. Workshop: Alterações de padrões climáticos e hidrológicos e avaliação da melhor representação energética de séries de vazões naturais	7
4. Diagnóstico e análises de alterações nas séries históricas de vazões e Energias Naturais Afluentes	9
4.1. Análises estatísticas do histórico de vazões e ENAs	9
4.1.1. Identificação de anomalias nas séries históricas.....	10
4.1.2. Análise da não estacionariedade de séries históricas de vazões	14
4.2. Possíveis causas das alterações identificadas no histórico.....	14
4.2.1. Regime pluviométrico	18
4.2.2. Índices climáticos	20
4.2.3. Relação entre os ciclos dos índices climáticos e as séries históricas de vazão/ENA	26
4.3. Efeitos práticos da alteração do histórico oficial na operação e planejamento do setor elétrico.....	33
4.3.1. Cenários simulados	34
4.3.2. Resultados do modelo NEWAVE.....	35
4.3.3. Decisão sob incerteza	39
4.3.4. Análise exaustiva: início do histórico em 1992.....	43
4.3.5. Vantagens x desvantagens.....	50
5. Conclusões e recomendações	51
6. Referências.....	53
7. Anexos	56
Anexo A: Séries históricas por REE	56
Anexo B: Resultados das simulações no modelo NEWAVE.....	60
Anexo C: Matrizes de decisão sob incerteza	78

1. Apresentação

Este relatório está inserido no contexto do Grupo de Trabalho de Metodologia da CPAMP – Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico, criada pela Resolução CNPE nº 01/2007 e regulamentada pela Portaria MME nº 47/2008, com a finalidade de garantir coerência e integração das metodologias e programas computacionais utilizados pelo MME, EPE, ONS e CCEE.

O Grupo de Metodologia da CPAMP é coordenado pela EPE (representada pela Assessoria da Presidência e Superintendência de Planejamento da Geração – SGE) e conta com a participação do MME (representado pelas Secretarias de Energia Elétrica – SEE, Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético – SPE e Assessoria Econômica - Assec), da ANEEL (representada pela Superintendência de Regulação da Geração – SRG), do ONS (representado pelas Gerências de Planejamento Energético - PE e de Programação - PR) e da CCEE (representada pela Gerência Executiva de Preços - GEPRE). O grupo possui, ainda, a assessoria técnica do CEPEL (representado pelo Departamento de Otimização Energética e Meio Ambiente).

1.1. Motivação

O tema relacionado às alterações de padrões climáticos e seus possíveis impactos nas séries hidrológicas utilizadas no setor elétrico vem sendo abordado e incentivado pela CPAMP nos últimos anos. Em outubro/2017 o GTMET coordenou um *workshop* com os agentes denominado “Alterações de padrões climáticos e hidrológicos e avaliação da melhor representação energética de séries de vazões naturais”, ocasião em que agentes, instituições e universidades tiveram a oportunidade de apresentar e discutir sobre o tema. Em dezembro do mesmo ano, a atividade relacionada à geração de cenários foi elencada dentre as prioritárias divulgada no [site](#) do MME para o ciclo 2018/2019, motivada, principalmente, pelo questionamento sobre a não estacionariedade de séries históricas de vazões naturais em usinas hidrelétricas que compõem o Sistema Interligado Nacional.

A identificação dessas alterações no comportamento hidrológico nos anos mais recentes destaca a importância da macroatividade Representação Hidrológica: Geração de Cenários para o setor elétrico. Nos estudos ora apresentados investigaram-se possíveis relações das referidas anomalias com a variabilidade de índices climáticos e avaliaram-se eventuais impactos à operação/planejamento caso o histórico atualmente empregado nas modelagens (1931-atual) fosse modificado através de um simples truncamento na série de dados¹.

1.2. Objetivo

O presente Relatório Técnico tem o objetivo de apresentar o estudo desenvolvido e o posicionamento do GTMET acerca de eventuais impactos (vantagens e desvantagens) à operação/planejamento caso se altere o histórico oficial de vazões através de um truncamento simples e válido para as séries hidrológicas referentes a todos os reservatórios equivalentes, buscando indicar a implementação de uma ou mais ações que se mostrem viáveis no ciclo atual da CPAMP.

O tema da Representação Hidrológica teve suas atividades distribuídas em um ciclo bianual (2018/2019 e 2019/2020), dado que possíveis decisões do atual ciclo poderiam exigir maior prazo para implementações em modelos computacionais. Assim sendo, no ciclo 2018/2019 o GTMET se dedicou ao diagnóstico e às análises das alterações nas séries históricas através de truncamento simples e na mesma data para todos os reservatórios equivalentes. Enquanto isso, o ciclo 2019/2020 deverá seguir com o aprofundamento das análises da variabilidade climática e sua influência no comportamento das séries de vazões e variáveis meteorológicas e com a implementação de melhorias adicionais ao processo de geração de cenários. Na Tabela 4.1 apresenta-se o cronograma detalhado da macroatividade para o ciclo de estudos 2018/2019.

¹ Cabe enfatizar a simplicidade do procedimento aqui analisado para o tratamento das séries hidrológicas. Trata-se de um truncamento simples, desconsiderando os dados antes de um determinado ano, e aplicado às séries que alimentam o modelo NEWAVE para todos os reservatórios equivalentes. A escolha deste tratamento simples justifica-se pelas funcionalidades disponíveis no modelo computacional. Tratamentos mais sofisticados poderão ser objeto de análises futuras.

Tabela 4.1 – Cronograma das atividades relacionadas à Representação Hidrológica: Geração de cenários.

Atividade	Cronograma																							
	Ago		Set		Out		Nov		Dez		Jan		Fev		Mar		Abr		Mai		Jun		Jul	
	1 Q	2 Q	1 Q	2 Q	1 Q	2 Q	1 Q	2 Q	1 Q	2 Q	1 Q	2 Q	1 Q	2 Q	1 Q	2 Q	1 Q	2 Q	1 Q	2 Q	1 Q	2 Q	1 Q	2 Q
Avaliação e definição de linhas de ação e aprimoramentos prioritários: plano bianual																								
2018-2019 - Diagnóstico e análises de alterações nas séries históricas de vazões e ENAs																								
Revisão bibliográfica: testes estatísticos para definição de alterações no comportamento hidrológico (MLT, tendências)																								
Análises estatísticas: transições entre os períodos seco/úmido; identificação de padrões; cortes nas séries históricas																								
Consequências do corte nas séries para os cenários de afluências e de despacho hidrotérmico																								
Apresentação parcial à CPAMP e aos agentes																								
Especificação e análise de efeitos práticos à operação/planejamento (PLD/CMO, dimensionamento, garantia física)																								
Simulações no modelo NEWAVE com cortes no histórico nos anos identificados nos itens anteriores																								
Metodologias de suporte à tomada de decisão baseadas nos custos de operação para cada corte no histórico																								
Direcionamento pelas instituições do corte no histórico que se mostre mais favorável																								
Simulações encadeadas para análise exaustiva dos efeitos práticos à operação/planejamento																								
Apresentação dos resultados à CPAMP																								
Posicionamento acerca dos eventuais impactos oriundos de alterações no histórico (vantagens/desvantagens)																								
Apresentação final à plenária da CPAMP																								
Consulta Pública e contribuições dos agentes																								
Revisões e preparação para decisão da plenária da CPAMP																								
Decisão da plenária da CPAMP																								

2. Resumo executivo

Esta seção apresenta um resumo das conclusões e recomendações do GTMET acerca dos estudos de Representação Hidrológica realizados no ciclo 2018/2019.

Conforme sintetizado na Tabela 2.1 e exposto mais adiante neste documento, este grupo de trabalho não dispõe de evidências que permitam afirmar inequivocamente que o comportamento hidrológico recente é discutido nas seções 4.1 e 4.2 deste relatório se trata de uma mudança permanente ou de um estágio transitório de evento climático cíclico de longa duração, ou sequer atribuir probabilidades a qualquer destes dois estados. Tendo isto em vista, são utilizadas técnicas de tomada de decisão sob incerteza ajustadas a cenários não-probabilísticos para subsidiar as recomendações deste relatório – a saber, as técnicas de decisão de *minimização da máxima perda* ou *minimização do máximo arrependimento*.

Tabela 2.1 – Resumo das conclusões e recomendações dos estudos realizados no ciclo 2018/2019.

Conclusões	Recomendações
Houve mudanças importantes na hidrologia dos últimos anos, mas os estudos não permitem definir, inequivocamente, se as tendências de acréscimo e redução das vazões/ENAs representam uma mudança estrutural no sistema ou são parte um ciclo de longa duração. Serão necessárias análises aprofundadas sobre a relação destas anomalias com a ocorrência ou não de ciclos dos índices climáticos	Abertura de projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) junto à ANEEL direcionados aos estudos sobre o clima e suas variabilidades características e as relações com o comportamento estacionário ou não das séries de vazões. Objetiva-se possibilitar a previsibilidade de eventos contínuos de anomalias como os atualmente observados no SIN
As metodologias de auxílio à tomada de decisão sob incerteza direcionam para não se alterar o histórico oficial	Avaliação de possíveis mudanças na decisão sob incerteza incorporando o ano de 2019 nas análises (em 2020, considerar o histórico oficial até 2018 + vazões consolidadas em 2019 no arquivo VAZPAST); alternativa de revisão anual dos estudos referentes à Representação Hidrológica pelo GTMET
Os cenários simulados consideram a redução das séries, iniciadas em anos nos quais se identificaram padrões relacionados às análises estatísticas e/ou aos ciclos de índices climáticos. No entanto, limitações do modelo NEWAVE não permitiram a alteração do histórico para períodos específicos (janelas da série histórica, sem abranger, necessariamente, os anos mais recentes) e distintos por REE	Implementação da funcionalidade de escolha do período a ser simulado por REE, com possibilidade de simulação de anos iniciais e finais quaisquer

Conclusões	Recomendações
A geração de cenários e otimização realizadas no modelo NEWAVE favorecem a geração hidráulica quando o histórico é reduzido, dada a maior disponibilidade de ENA em determinadas bacias hidrográficas. No entanto, na prática, a sistemática ocorrência de vazões reduzidas nos últimos anos nas bacias que possuem os principais reservatórios não permitiu uma recuperação significativa de armazenamento	Investigação da facilidade do modelo NEWAVE em encher os reservatórios, ainda que se considerem séries históricas com médias inferiores à atual e, portanto, tendências de decréscimo das afluições nos períodos mais recentes. Complementarmente, levantaram-se possibilidades de melhorias no processo de geração de cenários de curto/médio prazo no modelo GEVAZP (atualmente empregado como fonte de dados de entrada para o DECOMP e acoplado ao NEWAVE)

3. Workshop: Alterações de padrões climáticos e hidrológicos e avaliação da melhor representação energética de séries de vazões naturais

Em outubro/2017 o GTMET coordenou o *workshop* “Alterações de padrões climáticos e hidrológicos e avaliação da melhor representação energética de séries de vazões naturais”, ocasião em que agentes, instituições e universidades discutiram sobre o tema. Ao todo, foram realizadas 14 apresentações, sendo o primeiro dia direcionado ao tema “Hidrologia e Clima” e o segundo dia destinado à modelagem energética.

O relatório técnico nº 2130/2019 foi elaborado pelo CEPEL em abril/2019, a pedido do GTMET, com o objetivo de reunir breves resumos acerca das referidas apresentações e analisar tecnicamente as propostas apresentadas. O documento será disponibilizado juntamente com os demais referentes à Consulta Pública.

Dentre as principais contribuições do *workshop*, foram destacadas as seguintes:

- Necessidade de prosseguir nos estudos de investigação da estacionariedade das séries de vazões afluentes aos reservatórios de usinas hidroelétricas. De acordo com o exposto em algumas apresentações, a não estacionariedade pode estar relacionada aos usos consuntivos, às mudanças no uso do solo e/ou à presença de tendência causada pela variabilidade ou mudança do clima. Algumas propostas dizem respeito ao descarte da parte mais antiga do registro histórico, enquanto outras defendem a modificação nos valores

de uso consuntivo de modo a garantir a estacionariedade da série de vazões e, ainda, ajustar uma tendência aos dados;

- Necessidade de inclusão de variáveis climáticas nos modelos de previsão e geração de cenários de vazões; e
- A consideração dos cenários de mudança climática do IPCC na construção de cenários de vazões afluentes às usinas hidroelétricas até 2100 possibilitam a avaliação de medidas de adaptação/mitigação nos estudos de planejamento da expansão e operação do SIN.

Relacionados às tais contribuições, o CEPEL apresentou os seguintes comentários:

- A identificação do ponto de corte do histórico é um desafio a ser investigado, devendo essa abordagem considerar a perda de informação com o descarte de parte da série histórica;
- Quanto ao ajuste dos valores de uso consuntivo, é preferível executar um estudo detalhado para estimação da real retirada de água para irrigação nos moldes do estudo feito pela ANA;
- O ajuste de uma tendência nas séries hidrológicas deve ser avaliado, mas de forma cuidadosa dado o desafio de se projetar até que momento do futuro ela se mantém;
- A representação de um fenômeno climático global cíclico na geração de cenários de afluências considera, indiretamente, uma não estacionariedade. Algumas iniciativas foram apresentadas pelo CEPEL: versão do modelo GEVAZP que representa o impacto do fenômeno macroclimático ENOS (El Niño Oscilação Sul) no cálculo de seus parâmetros não estacionários e modelo DIANA de geração de cenários de vazões diárias, utilizado para o controle de cheias, que considera o ENOS como variável exógena desde o final da década de 90;
- Ressalta-se a importância de investigar a possibilidade de considerar diferentes fenômenos macroclimáticos nos modelos hidrológicos e de planejamento/otimização utilizados no setor elétrico;

- As propostas que recomendam o uso das projeções de índices climáticos para definição dos parâmetros de modelos hidrológicos devem ser vistas com cautela, uma vez que existem incertezas associadas às interações entre a dinâmica atmosférica e o ciclo hidrológico; e
- O estudo sobre a variabilidade e as mudanças climáticas envolve grande incerteza e, portanto, é fundamental envidar esforços para sua compreensão e representação nos modelos utilizados no planejamento da expansão e da operação do Sistema Interligado Nacional.

Durante o workshop, discutiu-se a possibilidade de desacoplar o modelo GEVAZP do NEWAVE, permitindo o uso de outros modelos de geração de cenários de vazões mensais. Em resposta, o CEPEL explicou que o modelo GEVAZP emprega o modelo estocástico PAR(p) que é parte integrante da formulação matemática utilizada na solução do problema de otimização estocástica considerado no NEWAVE. Desta forma, caso os cenários de afluência *forward* e *backward* sejam provenientes de modelos externos, será necessário que a formulação matemática deste modelo externo seja considerada na formulação do problema de otimização estocástica. Adicionalmente, o CEPEL tem a responsabilidade técnica por primar pela qualidade dos cenários de afluições considerados nos modelos NEWAVE e DECOMP.

4. Diagnóstico e análises de alterações nas séries históricas de vazões e Energias Naturais Afluentes

4.1. Análises estatísticas do histórico de vazões e ENAs

A avaliação do comportamento das séries de vazões requer análises estatísticas para identificação de onde e a partir de quando ocorreram anomalias. Os estudos do GTMET investigaram possíveis causas destes comportamentos anômalos, averiguando a estacionariedade das séries e sua compatibilidade com ciclos climáticos ocorridos nos oceanos, estes obtidos com base em índices. A partir dessas análises, propôs-se a seleção de determinados períodos da série histórica oficial (atualmente utilizada desde 1931 até o ano atual) e avaliaram-se as consequências de tais decisões para os

cenários de afluições e despacho hidrotérmico, variáveis diretamente relacionadas à operação e planejamento do setor elétrico.

4.1.1. Identificação de anomalias nas séries históricas

O ano de 2013 teve início com vazões significativamente baixas nas bacias hidrográficas do subsistema Nordeste, com um janeiro que registrou a menor ENA (Energia Natural Afluente) desde 1931 (5011 MWmed, equivalente a 36% MLT). Ainda assim, o ano seguiu oscilando entre meses mais próximos das médias mensais, alcançando-se uma média anual de 60% MLT. Desde então, observa-se uma redução gradativa das vazões anuais na região, partindo de 49% MLT em 2014 até alcançar a mínima média anual histórica em 2017 (32% MLT).

Entre 2015 e 2017 registraram-se também as mínimas médias ENAs mensais, resumidas na Tabela 4.1. O ano de 2018, apesar de mais favorável que o anterior, ainda apresentou média anual de 50% MLT no Nordeste, mantendo o cenário crítico observado recentemente. Analisando-se um período mais extenso de dados, tem-se que desde 1992 (quando se registrou uma média 68% superior à MLT) apenas três anos apresentaram valores acima da MLT de 7927 MWmed (obtida para o período oficial de 1931 a 2017), quais sejam: 1994 (8147 MWmed), 1997 (8401 MWmed) e 2009 (7995 MWmed).

Tabela 4.1 – Ocorrência das ENAs mínimas médias mensais no histórico do Nordeste (1931 a 2018).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Ocorrência da mínima ENA histórica	2015	2015	2017	2016	2017	2016	2016	2017	2017	2017	2015	2015
ENA (% MLT mensal)	28%	29%	25%	23%	23%	31%	32%	36%	34%	26%	20%	32%

Este comportamento no subsistema é reflexo dos baixos índices pluviométricos observados na bacia do rio São Francisco desde meados da década de 90 e, principalmente, a partir de 2013. Na Figura 4.1 apresenta-se a série histórica de vazões naturais médias anuais na usina, destacando-se a clara redução dos registros no período mais recente.

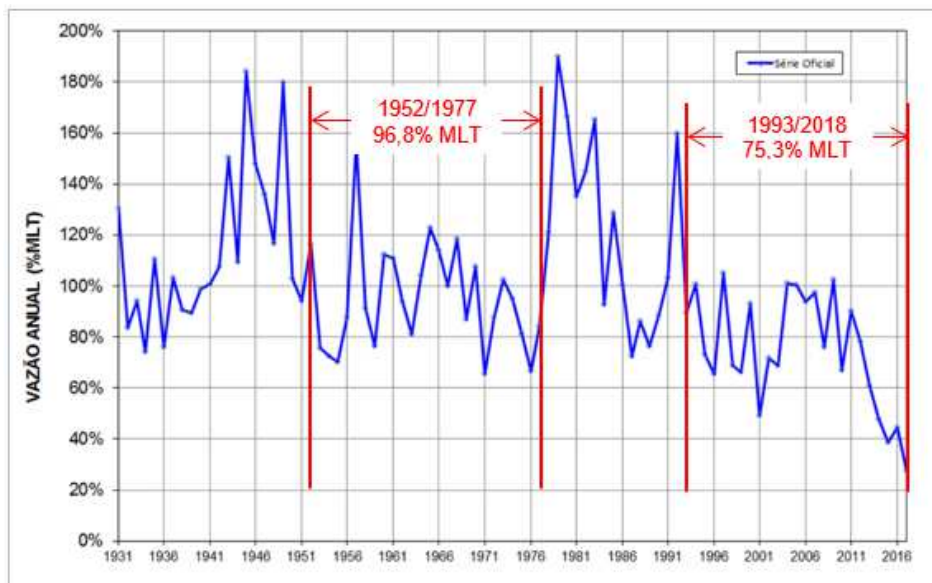


Figura 4.1 – Série histórica de vazões naturais médias anuais na UHE Sobradinho.

Essa redução nos registros atuais de vazão também é verificada em bacias vizinhas à do rio São Francisco, por exemplo:

- Bacia do rio Tocantins: série histórica da UHE Estreito Tocantins com média de 83,4% MLT entre 1993 e 2017;
- Bacia do rio Paranaíba: série histórica da UHE Itumbiara com média de 86,6% MLT entre 1993 e 2017; e
- Bacia do rio Grande: série histórica da UHE Porto Colômbia com média de 87,7% MLT entre 1993 e 2017.
- Bacias dos rios Doce (UHE Mascarenhas), Mucuri (UHE Santa Clara MG), Jequitinhonha (UHE Itapebi) e Paraguaçu (UHE Pedra do Cavalo) com média, respectivamente, de 80,1% MLT, 78,2% MLT, 66,1% MLT e 69,2% MLT entre 1993 e 2017.

Analisando-se, então, os demais subsistemas que compõem o Sistema Interligado Nacional, observam-se alterações importantes também nas ENAs do Sul, estas já com tendência de acréscimo. No Sudeste, mudanças expressivas não são evidenciadas, o que se justifica pelo fato de ser um subsistema que agrega bacias com comportamentos distintos, sendo que algumas têm apresentado reduções nas vazões (como as dos rios Grande, Paranaíba, Tocantins e alto São Francisco) e outras revelam

acréscimos (rio Paranapanema e a incremental de Itaipu, no rio Paraná). No Norte também não se identificaram alterações relevantes pois, apesar da mínima ENA média anual do histórico ter ocorrido em 2016, este comportamento não foi contínuo.

Na Figura 4.2 apresentam-se as séries históricas de ENA para os quatro submercados, bem como a MLT anual atualmente praticada considerando o período oficial de 1931 a 2017.

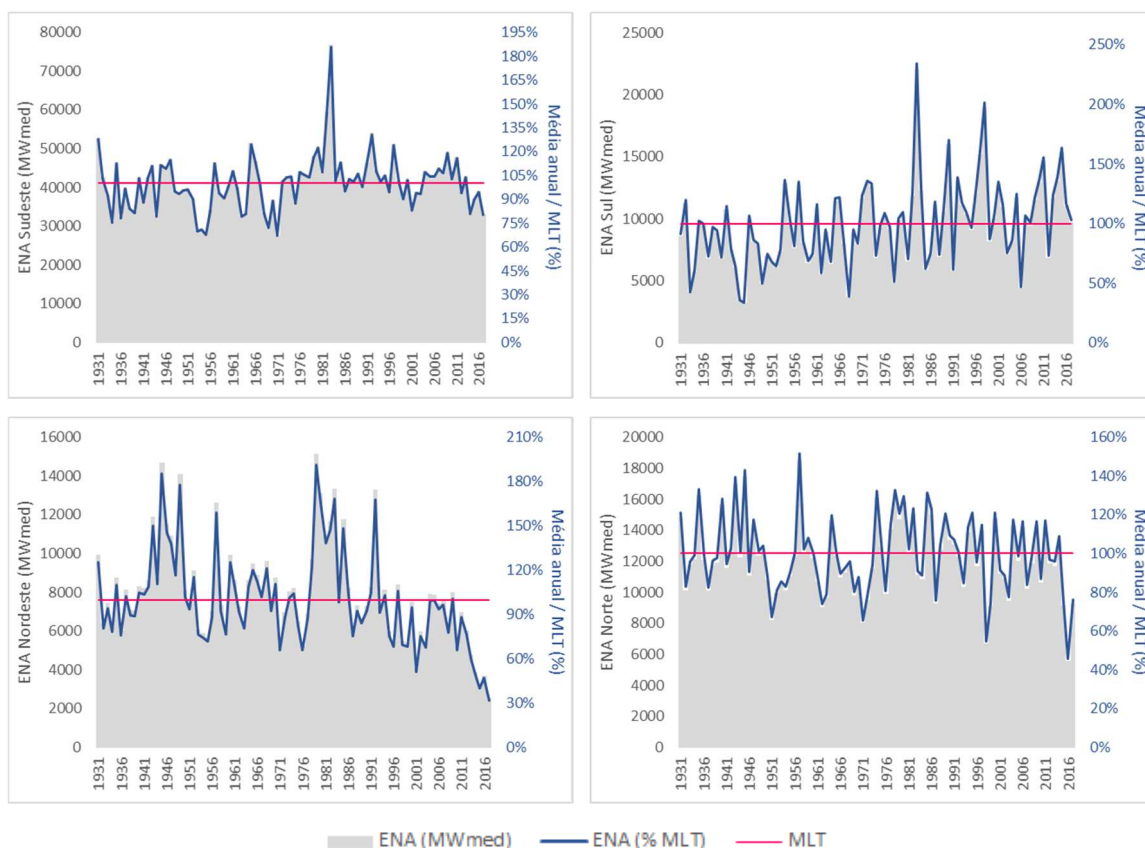


Figura 4.2 – Séries históricas de ENAs médias anuais por subsistema.

Corroborando tais constatações, observa-se nos histogramas da Figura 4.3 a alteração das classes de ENA com maior frequência à medida que o histórico é reduzido a cada um ano (médias do período de 1931-2017 até o período de 1998-2017). No Nordeste, as séries com as médias dos anos mais recentes (linhas em tons escuros) apresentam ENAs com maior frequência na classe entre 5054 MWmed e 7580 MWmed (classe 2 no eixo x), sendo que historicamente (linha preta, 1931-2017), este comportamento se mostrava mais suavizado e próximo nas classes 2 e 3. No Sul, houve uma inversão na classe de maiores ocorrências, sendo que as médias dos períodos

mais recentes indicam maior frequência na 3ª classe, não mais na 2ª. No Sudeste não se observam alterações nas classes, apesar da maior ocorrência de eventos na classe 2 de ENAs. Por fim, no Norte tem-se frequências parecidas entre as classes 2 e 4, não mais concentradas na classe 3 como nas médias dos períodos com maior número de anos (linhas de tons mais claros).

Essas alterações no comportamento hidrológico das séries por subsistema podem ser observadas também por REE (Reservatório Equivalente de Energia), principalmente naqueles compostos por usinas localizadas nas regiões de maiores anomalias: Sul, Nordeste, estado de Minas Gerais e parcela centro-norte do estado de São Paulo (parte da região Sudeste). Gráficos que permitem essa visualização são apresentados no Anexo A, destacando-se quais seriam as MLTs válidas caso se adotassem reduções no histórico oficial (cenários apresentados no subcapítulo 4.3.1).

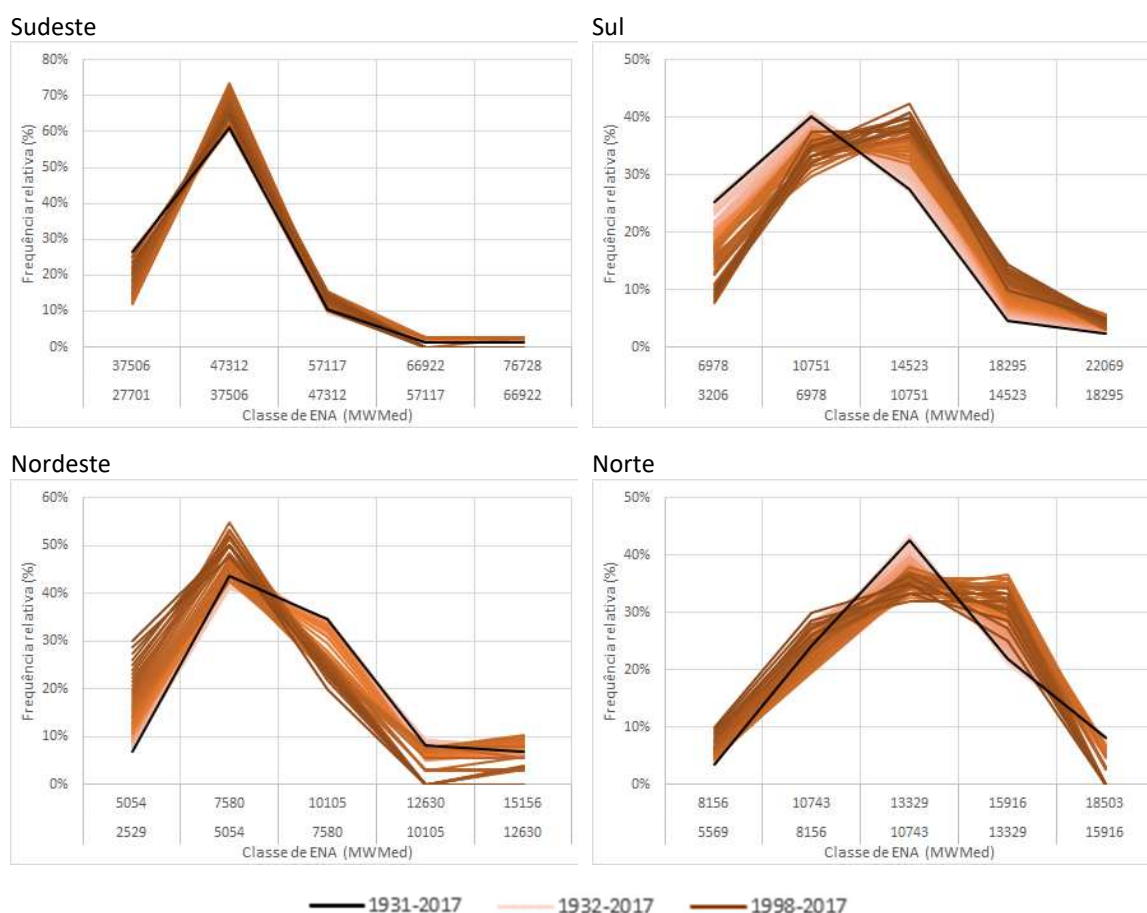


Figura 4.3 – Histograma das ENAs médias por subsistema nos períodos de 1931-2017 (oficial), reduzindo o histórico até a média do período de 1998-2017.

4.1.2. Análise da não estacionariedade de séries históricas de vazões

Adicionalmente, realizaram-se análises acerca da não estacionariedade das séries de vazões, a partir da seleção de postos representativos das principais bacias hidrográficas do SIN. Esta seleção partiu de 210 séries históricas de vazão natural em usinas hidrelétricas, priorizando pelo menos um aproveitamento por curso d'água e partindo do critério de correlação mínima de 0,95 entre determinada série e as demais do conjunto. Assim, os estudos foram direcionados para 64 postos representativos.

Aplicaram-se os testes não paramétricos de Spearman, Man-Kendall e o estimador de magnitude de tendência de Sen para determinar se as séries apresentavam tendências. Os resultados estão indicados na Figura 4.4, sendo que 39 dos 64 postos apresentaram tendência: 28% com tendência decrescente, 59% com tendência crescente e 13% sem tendência significativa.

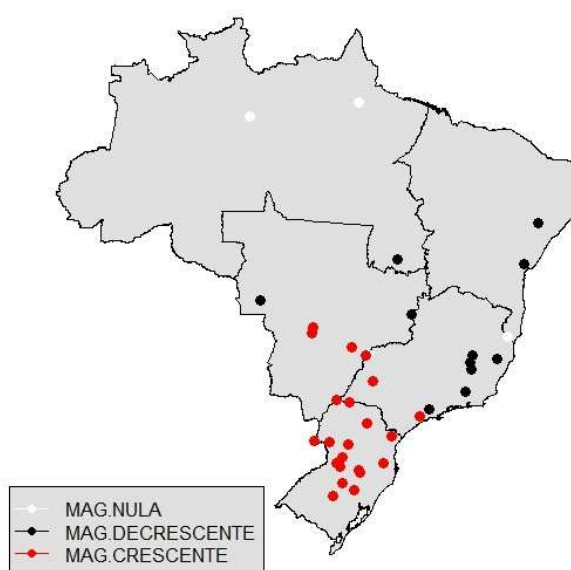


Figura 4.4 – Resultados do teste de magnitude da tendência de Sen para os 39 postos identificados com tendência.

4.2. Possíveis causas das alterações identificadas no histórico

Identificada a existência de anomalias nas séries históricas oficiais, torna-se necessário indagar acerca das possíveis causas, tais como:

- i. Usos consuntivos oficiais subestimados;
- ii. Alterações nos usos dos solos nas bacias hidrográficas; e

iii. Alterações no regime pluviométrico.

Relacionado ao item (i), a Agência Nacional das Águas - ANA atualizou as estimativas de usos consuntivos no rio São Francisco com base em novas informações de censos do IBGE e no refinamento da quantificação das áreas irrigadas na região (ANA, 2014). Na Tabela 4.2 apresenta-se o resultado deste estudo, sendo importante destacar o possível aumento de 124% dos usos a montante da UHE Sobradinho em 2018. Ainda assim, esse aumento (equivalente a 92,7 m³/s de diferença entre o valor oficial e o atualizado pela ANA) representa apenas 3,6% MLT da usina, valor pouco expressivo quando comparado às vazões naturais observadas nos anos mais recentes (Figura 4.5). Com isso, constata-se que as vazões de usos consuntivos acima das estimativas oficiais não são a principal causa da redução observada nos últimos anos.

Tabela 4.2 – Comparação entre as vazões de usos consuntivos no São Francisco (m³/s).

Aproveitamento	MLT (m ³ /s)	2010			2015 *			2018 *		
		Oficial	ANA	Aumento	Oficial	ANA	Aumento	Oficial	ANA	Aumento
Três Marias	673	8,0	10,8	35%	8,6	15,0	74%			
Sobradinho	2.569	65,3	101,2	55%	71,2	139,9	96%	74,8	167,5	124%
Itaparica	2.666	114,1	157,5	38%	124,8	217,8	74%			
Xingó	2.681	116,4	172,9	49%	126,9	239,1	88%			

* Considerando uma taxa de crescimento de 6,7% a.a.

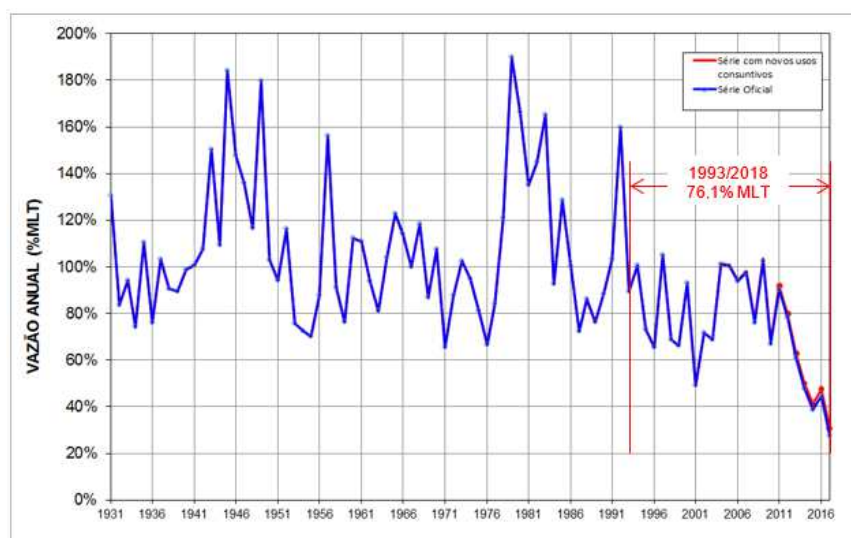


Figura 4.5 – Série histórica oficial de vazões naturais médias anuais na UHE Sobradinho comparativamente à série com os novos usos consuntivos.

Quanto ao item (ii), é pouco provável que a causa esteja relacionada às alterações nos usos dos solos das bacias, uma vez que as anomalias são observadas em uma extensa região do país (Figura 4.6) e os impactos da utilização dos solos

(urbanização, maior área destinada à agricultura etc.) são mais evidentes em escalas locais nas bacias hidrográficas. Com base nessa mesma figura, percebe-se uma intensificação das anomalias das vazões no período 2013/2018, tanto as negativas, na bacia do rio São Francisco e nas bacias situadas nas cabeceiras da região do subsistema Sudeste, quanto as positivas, na região Sul, nas bacias do rio Paranapanema e Tietê e nas bacias incrementais do rio Paraná.

Assim, nas linhas de investigação da possível causa principal das anomalias nas séries históricas de vazões, a mais provável é que estejam ocorrendo alterações nos padrões de chuva (item (iii)). Um exemplo disso é o estudo elaborado pela ANA em 2013 que mostra que, das 185 estações pluviométricas com longo período de observação existentes na bacia do rio São Francisco, 80% apresentaram média do total precipitado anual após 1993 inferior à média do período anterior.

Para corroborar esta linha de estudo, apresentam-se nos subcapítulos 4.2.1 e 4.2.2, respectivamente, análises das possíveis relações destas anomalias com o regime pluviométrico de determinadas bacias e com os ciclos de índices climáticos que possam interferir em uma escala espacial e temporal maior.

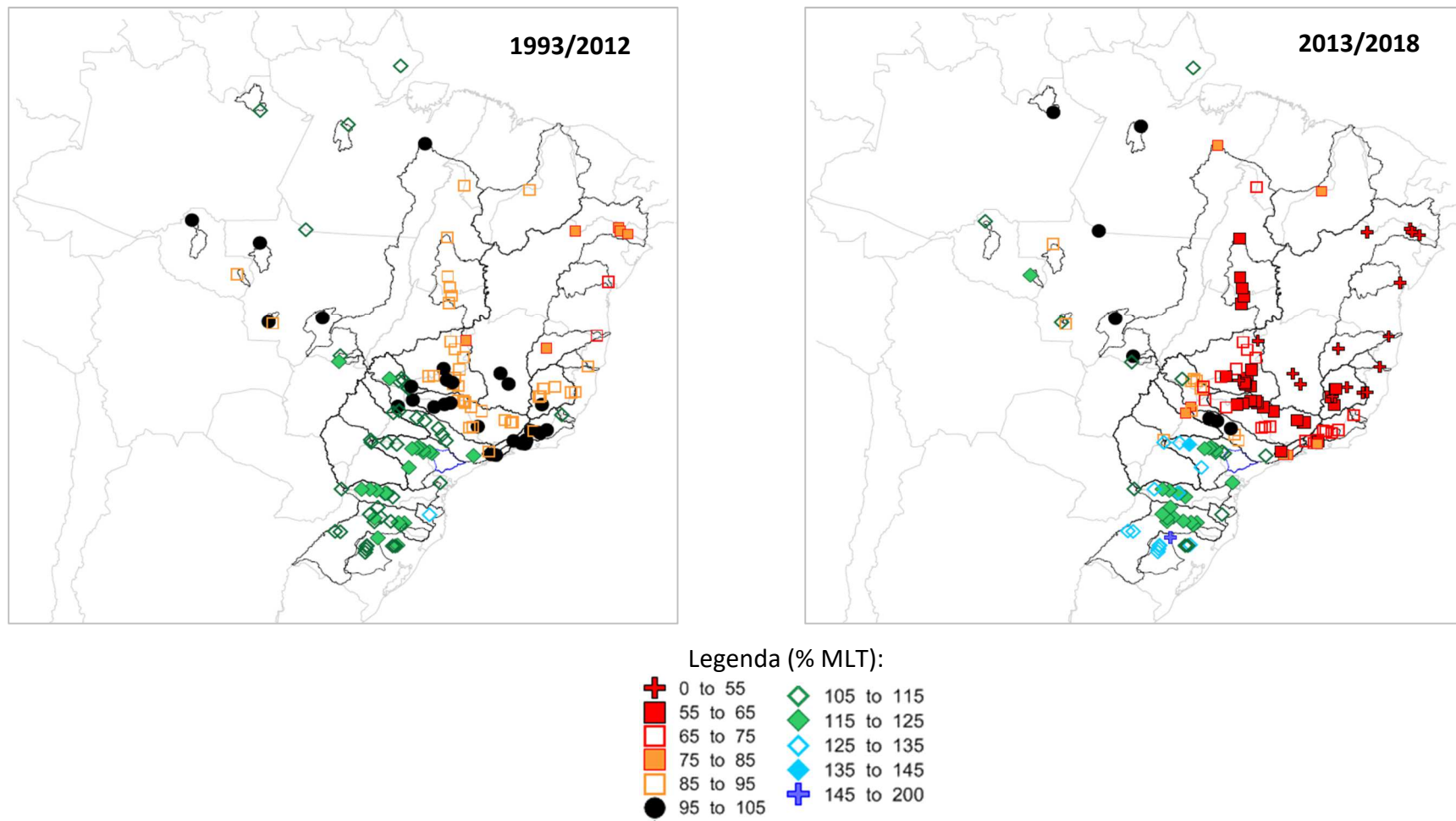


Figura 4.6 – Alterações nas médias das vazões naturais observadas nos últimos anos no SIN.

4.2.1. Regime pluviométrico

Essa seção apresenta a relação entre a precipitação observada e as séries de vazões. Dado que as parcelas de escoamento superficial e de escoamento subterrâneo em um hidrograma são oriundas da transformação do volume precipitado na bacia hidrográfica, torna-se evidente a relação entre chuva e vazão.

Os dados de precipitação empregados nas análises são de reanálise do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP/NCAR). Esses dados consistem em análises (dados observados) de variáveis meteorológicas interpoladas por pontos de grade para todo o globo. A grade dos dados de precipitação possui resolução espacial de 0,5° (~50 km), resolução temporal diária e abrange o período de janeiro de 1979 até a data corrente.

Os mapas mostrados na Figura 4.7 indicam os anos com chuvas acima ou abaixo da média histórica, ou seja, as anomalias positivas (chuva acima da média) são representadas pelos tons de azul e as anomalias negativas (chuvas abaixo da média) por tons de vermelho. A média histórica considerada foi a climatologia atualmente adotada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), precipitação média observada entre 1981 e 2010 (30 anos). Na sequência dos mapas percebe-se que, no histórico recente (entre 2009 e 2017), apenas os anos de 2009 e 2011 não mostram uma evidente predominância de chuvas abaixo da média. Relacionando esses mapas com as regiões com redução das vazões nos últimos anos (pontos indicados em laranja na Figura 4.6 para o período 1993/2012 e em vermelho para o período 2013/2018), observa-se que as chuvas abaixo da média corroboram as ENAs com baixos percentuais de MLT.

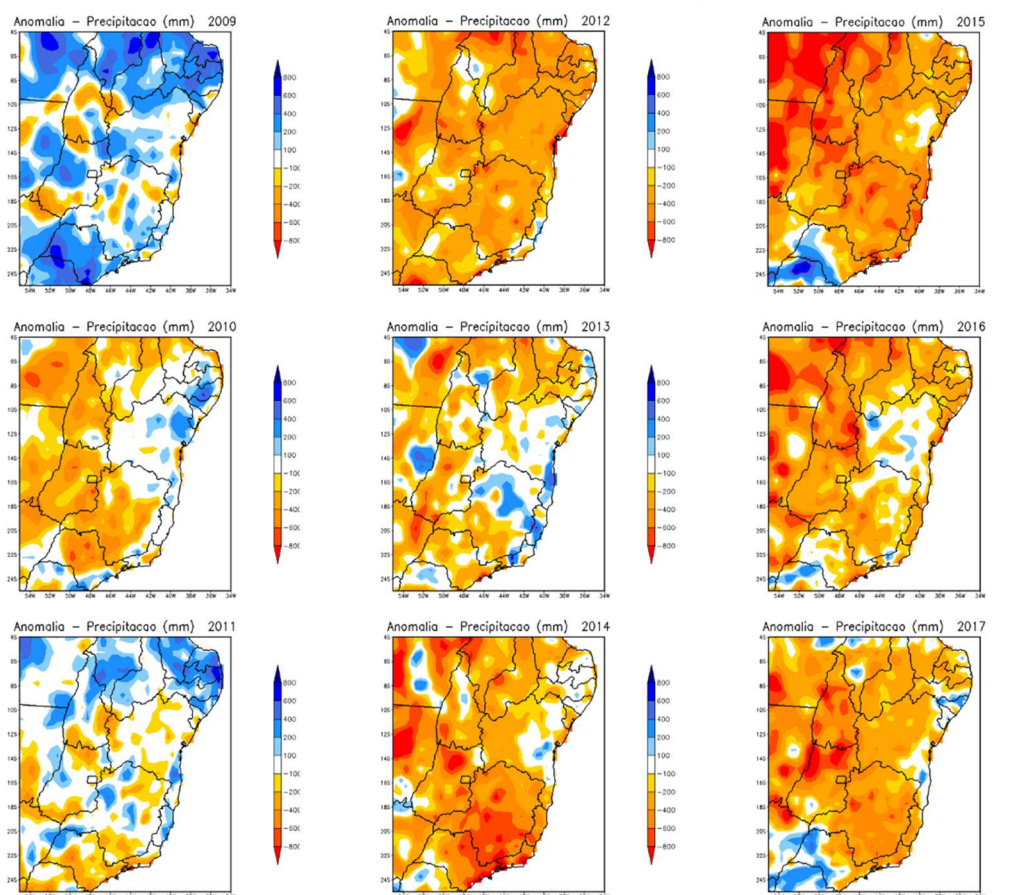
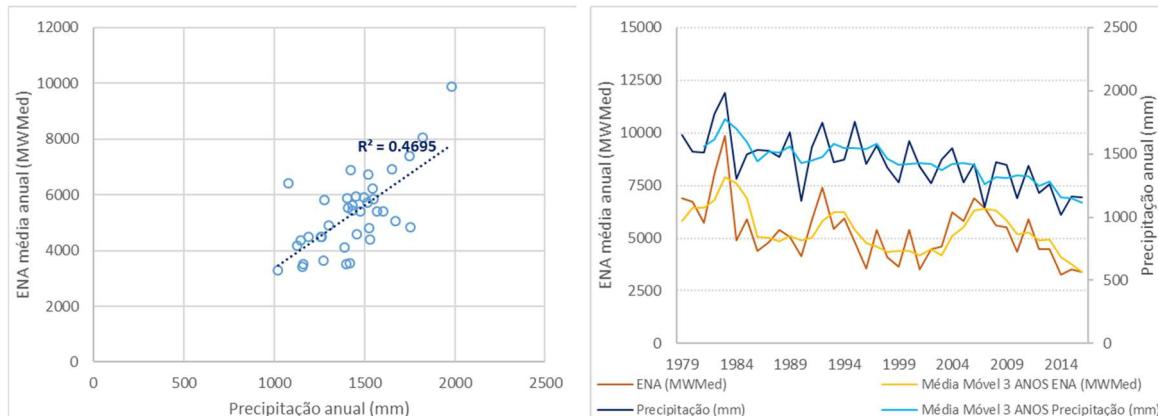


Figura 4.7 – Mapas de anomalias de precipitação observada entre 2009 e 2017.

Os gráficos mostrados na Figura 4.8 relacionam a chuva total anual e a ENA média por ano para as bacias dos rios Paranaíba e São Francisco até a UHE Três Marias. Os resultados mostram boas relações lineares, permitindo a indicação de que reduções nas precipitações têm corroborado os menores volumes escoados nos rios.

Nos casos em que houve aumento da ENA média anual enquanto se observou a redução da precipitação total (entre 2000 e 2005) pode-se atribuir este aumento ao fato de as bacias serem de grande magnitude e a chuva ser média em toda a bacia, perdendo-se a representatividade da informação em relação à ENA total (variável esta que se refere à soma das ENAs das usinas da cascata e também não permite a identificação das diferentes parcelas da bacia).

Bacia do rio Paranaíba



Bacia do rio São Francisco até UHE Três Marias

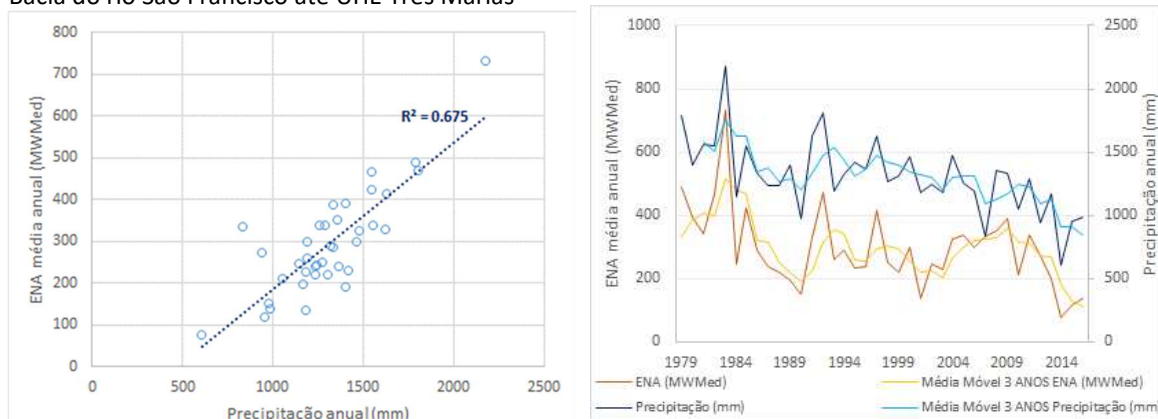


Figura 4.8 – Relação entre precipitação total anual e ENAs médias anuais para as bacias dos rios Paranaíba e São Francisco até a UHE Três Marias.

4.2.2. Índices climáticos

A variabilidade das vazões em uma bacia é determinada por fatores associados à fisiologia da bacia e às condições de tempo e clima (Tucci, 2012). As principais características físicas da bacia são a área/densidade de drenagem e o comprimento/declividade do rio principal, enquanto as condições de tempo e de clima remetem ao cenário meteorológico em diferentes escalas temporais, sendo o tempo o estado da atmosfera em um local determinado em um momento definido e o clima, a condição típica local. A Organização Meteorológica Mundial utiliza o valor médio de um período de 30 anos para definir a climatologia da precipitação de um determinado local (Robinson e Sellers, 2014).

O Brasil, por ser um país de dimensões continentais e ocupar latitudes tropicais e subtropicais, é suscetível à atuação de diversos sistemas meteorológicos

responsáveis por caracterizar a climatologia da precipitação em seu território. As chuvas na região Sul, área que abrange as bacias dos rios Uruguai, Iguaçu e Paraná (incremental de Itaipu) e parte do Paranapanema, estão associadas à passagem de sistemas frontais (Reboita et al., 2010, 2012) e aos Sistemas Convectivos de Mesoescala (Rasmussen et al., 2014). Em alguns casos, a porção centro-sul da região Sudeste (região ocupada pelas bacias dos rios Tietê, Grande, Paranaíba, Alto São Francisco e parte do Paranapanema) é atingida por esses sistemas meteorológicos que ocorrem no Sul. Cavalcanti et al. (2016) indicam que os sistemas frontais ocorrem de maneira bem distribuída no Sul ao longo do ano, entretanto os que atingem a região Sudeste ocorrem preferencialmente entre os meses de março e setembro. Os meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) apresentam os maiores volumes de precipitação nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, estando associados à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Carvalho et al., 2002). A ZCAS transporta ar quente e úmido necessário para a formação das chuvas desde regiões amazônicas até o litoral da Região Sudeste, passando pelo centro do Brasil.

Esses sistemas precipitantes são diretamente afetados por episódios de bloqueio, que causam períodos de estiagem nas bacias dos rios Paraíba do Sul, Tietê, Grande, São Francisco e Paranaíba, conforme foi observado, recentemente, nos verões de 2014 e 2015. As chuvas na região Nordeste não apresentam características típicas das regiões equatoriais, apresentando grande variabilidade ao longo do ano. No Nordeste é possível caracterizar desde o clima semiárido no interior até o clima chuvoso na costa leste da região (Kousky e Chug, 1978). A parte norte do Nordeste também apresenta elevados volumes de precipitação, estando esses associados ao posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que causa chuva nas bacias dos rios Paranaíba e nos baixos Tocantins e Xingu, principalmente nos meses de março e abril (Nobre e Uvo, 1989). A região Norte apresenta elevados volumes pluviométricos, estando estes associados, principalmente, às características locais: temperaturas elevadas, típicas de regiões equatoriais, e disponibilidade de umidade oriunda da evaporação das águas dos rios e da evapotranspiração das florestas.

A variabilidade climática é um fator determinante para as alterações nos padrões das chuvas e, conseqüentemente, nas vazões dos rios. A relação entre os índices que podem indicar a variabilidade climática (índices climáticos), o cenário de

precipitação e o comportamento das vazões no Brasil vem sendo abordada na literatura por diferentes autores. Um índice climático amplamente estudado é o relacionado ao fenômeno atmosférico-oceânico El Niño, caracterizado por anomalias positivas (El Niño) ou negativas (La Niña) da temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico Equatorial. A anomalia da TSM é a diferença entre os valores correntes observados em relação ao histórico, sendo essa positiva/negativa com a TSM acima/abaixo da média histórica. Em condições normais a TSM é maior na costa da Ásia (movimento ascendente) do que na costa da América do Sul (região de subsidência), acompanhando a circulação da Célula de Walker. Em períodos de El Niño a região central do Pacífico Equatorial se aquece, passando a ter movimentos ascendentes e deslocando a região de subsidência da costa da América do Sul para leste, sobre o Norte/Nordeste brasileiro. Esse movimento provoca uma alteração da circulação em nível latitudinal, passando a haver subsidência no Norte (região amazônica) e Nordeste brasileiro e movimentos ascendentes favoráveis às precipitações em latitudes médias da América do Sul (Azambuja, 2017). Como resultado dessa alteração na circulação, há um aumento da precipitação na Região Sul e períodos de estiagem na faixa Norte/Nordeste do Brasil. Tedeschi e Grimm (2008) identificaram extremos de precipitações e vazões nas bacias dos rios Uruguai e Paraguai relacionados com eventos de El Niño. Esse comportamento foi o contrário do observado por Marengo (2004) ao estudar a precipitação na região amazônica entre 1929 e 1998, indicando que a maior frequência e intensidade do El Niño reduziram as chuvas na bacia amazônica a partir de 1975/1976. Estudos mais antigos já indicavam que os episódios de El Niño estariam associados à redução das vazões nos rios da Amazônia (Molion e Moraes, 1987; Marengo, 1992).

A caracterização do El Niño é feita através de índices ou anomalias da TSM para diferentes regiões do Pacífico Equatorial: Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4, indicadas na Figura 4.9.

A região do Pacífico Equatorial em que a anomalia da TSM está mais correlacionada com a precipitação no sul do Brasil é o Niño 3.4 (Grimm et al. 2000). O gráfico mostrado na Figura 4.10 indica a anomalia da TSM na região do Niño 3.4, calculado entre janeiro de 1950 e janeiro de 2017. Os valores elevados na anomalia positiva em 1982-83, conhecido como o El Niño mais intenso (Rasmusson e Hall, 1983),

e os eventos de 1997-98 e 2014-15, coincidem com os anos de maiores valores de ENAs registradas no submercado Sul entre 1931 e 2017.

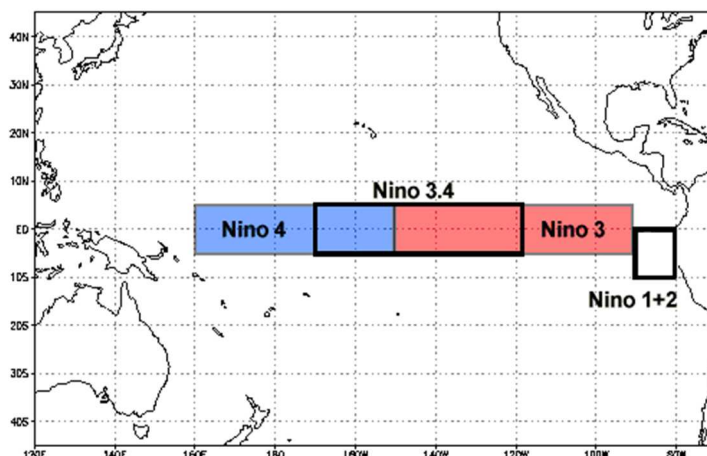


Figura 4.9 – Subdivisões da região equatorial do Oceano Pacífico. Fonte: <https://www.ncdc.noaa.gov>

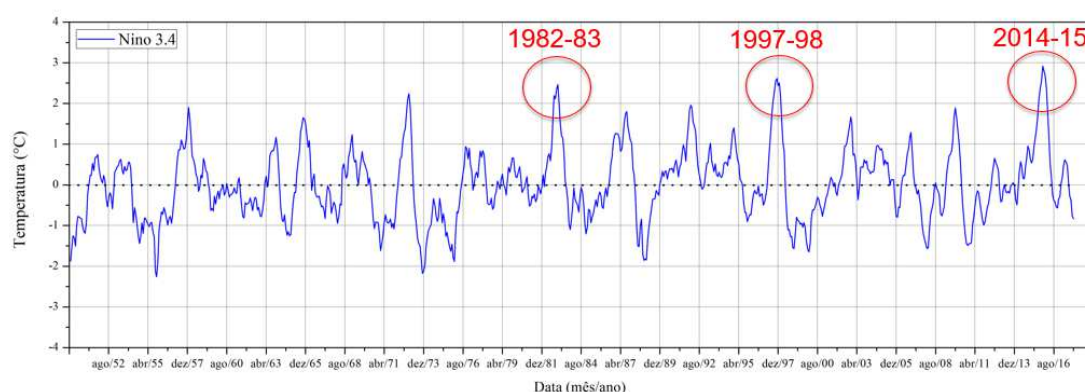


Figura 4.10 – Anomalia da TSM na região no Niño 3.4.

Uma metodologia utilizada para a caracterização do El Niño é baseada na análise do fenômeno considerando a sua intensidade, nesse caso utilizando o Índice Multivariado do El Niño Oscilação Sul (MEI, do inglês *Multivariate Enso Index*). O MEI pode ser definido como o índice numérico que integra a ação de diferentes fatores que caracterizam o fenômeno, oscilando entre valores positivos (El Niño) e negativo (La Niña). O índice considera na sua composição a pressão reduzida ao nível do mar, a temperatura do ar, a temperatura da superfície do mar, a nebulosidade e as componentes do vento em superfície (zonal e meridional) (Lay e Aiello, 2001). Lay e

Aiello (2001) encontraram valores de correlação moderada ($r = 0,6$) entre as precipitações médias anuais no centro-sul da América do Sul e as médias anuais do índice MEI entre 1950 e 1999. Marengo e Valverde (2007) identificaram o período, relativamente, menos chuvoso após 1975 na Amazônia relacionado com fenômenos El Niño mais intensos (1982-83, 1986-87, 1990-94, 1997-98), estando associadas com a fase positiva da Oscilação Decadal do Pacífico (PDO, do inglês *Pacific Decadal Oscillation*).

A PDO é um fenômeno com variação em escala climática, ou seja, apresenta uma configuração com variações de longo prazo, cerca de 20 anos duração. É dividida em fases positivas (anomalia positiva) e negativas (anomalia negativa), referentes as variações das TSM no Oceano Pacífico. A PDO positiva é conhecida por aumentar o número de ocorrências e intensidade do El Niño e uma diminuição do La Niña (Da Silva et al. 2011). A Figura 4.11 mostra o índice da PDO desde 1854 até 2018.

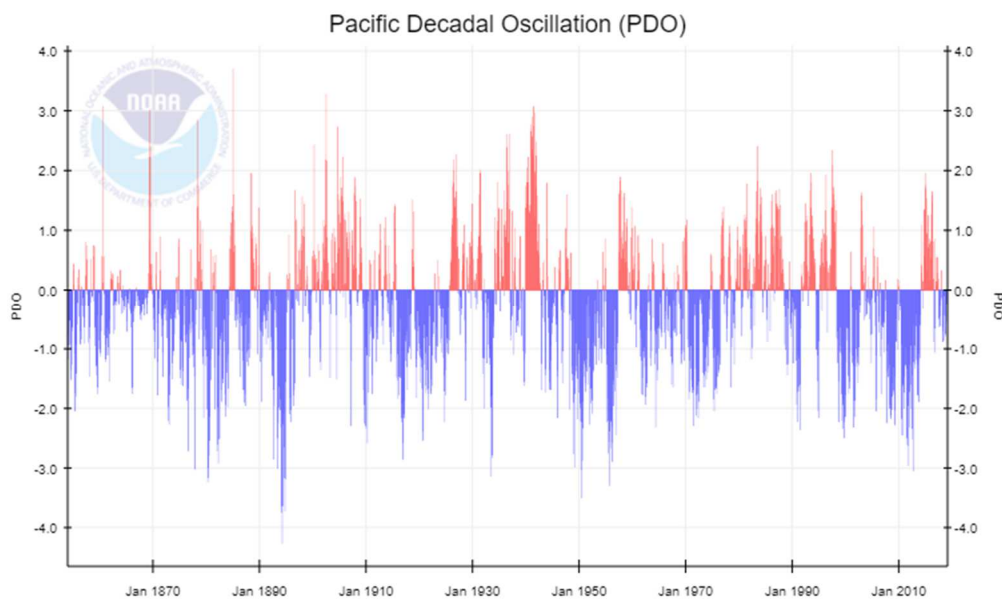


Figura 4.11 – Índice PDO entre 1854 e 2018: negativo (azul) e positiva (vermelho).

Fonte: <https://www.ncdc.noaa.gov>

Os índices climáticos relativos às variações da TSM do Oceano Atlântico, entre elas a *Atlantic Multidecadal Oscillation* (AMO – Oscilação Multidecadal do Atlântico), são comumente relacionadas com as variações das precipitações e das vazões nos rios brasileiros. Alves (2002) sugere que as reduções nas precipitações no Nordeste brasileiro entre 1974 e 2005 estejam diretamente relacionadas com a variabilidade do

El Niño e do dipolo do Atlântico Tropical. O dipolo do Atlântico Tropical possui duas fases, uma positiva, com anomalias positivas e negativas na TSM do Atlântico Tropical Norte e Sul, respectivamente. Na fase negativa do dipolo (anomalia positiva da TSM no Atlântico Tropical Sul) a ZCIT se posiciona em latitudes mais ao sul do que a sua posição climatológica indica, provocando chuvas na faixa norte do Brasil, atingindo as bacias dos rios Parnaíba, Tocantins e Xingu. Enquanto a fase positiva do dipolo, ocorrendo juntamente com o fenômeno El Niño, causa a redução das chuvas no Nordeste (Pezzi e Cavalcanti, 2001). As geolocalizações das áreas do Oceano Atlântico que determinam os índices climáticos estão ilustradas na Figura 4.12, em vermelho, e em azul estão os índices do Atlântico Tropical Sul (STA, do inglês *South Tropical Atlantic*) e norte (NTA, do inglês *North Tropical Atlantic*), respectivamente; em verde, o índice do Atlântico Equatorial (EA, do inglês *Equatorial Index*) e em rosa o Índice do Caribe (CAR).

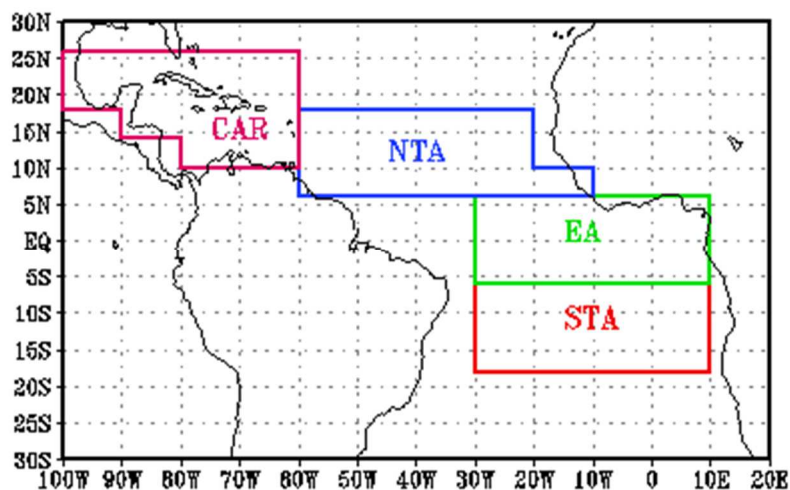


Figura 4.12 – Geolocalizações das áreas que determinam os índices climáticos do Atlântico: Atlântico Tropical Sul (STA), Atlântico Tropical Norte (NTA), Atlântico Equatorial (EA) e Caribenho (CAR). Fonte: www.esrl.noaa.gov

Durante o ciclo atual da CPAMP, foram analisadas as relações entre as séries históricas de vazões e os ciclos dos índices climáticos. Os resultados encontrados indicam que as vazões nas bacias do Sul estão mais relacionadas com o índice MEI, sugerindo que a intensidade do fenômeno El Niño tem elevado as vazões no Sul no histórico recente. A PDO apresentou uma boa relação com as séries de vazões de bacias das regiões Sudeste e Nordeste, entretanto a fase positiva da ODP desde 2014

deveria favorecer o aumento das vazões nessas bacias, o que não foi observado. A redução das vazões nos REEs Sudeste e Nordeste no histórico recente, não influenciadas pela fase da positiva do PDO, parecem ter sido afetadas pela TSM do Oceano Atlântico (AMO).

O próximo subcapítulo apresenta as relações entre as séries históricas de vazões/ENAs em diferentes bacias e REEs e os índices que mais estiveram associados com as variações nas vazões.

4.2.3. Relação entre os ciclos dos índices climáticos e as séries históricas de vazão/ENA

Na busca por possíveis relações entre as tendências crescentes e decrescentes dessas séries de vazões e os ciclos associados a diferentes índices climáticos, procedeu-se com o cálculo do diagrama de massa residual (diagrama de Rippl rebatido). Nele, caso a soma das anomalias anuais, dada pela Equação 4.1, seja de acréscimo, tem-se um indicador de períodos com vazões acima da média. Caso ocorra o contrário, com inclinações negativas da soma, definem-se períodos com vazões abaixo da média. Por fim, períodos de anomalias constantes indicam vazões próximas à MLT.

$$y = \sum_{i=1931}^j \frac{(Q_i - Q_{MLT})}{Q_{MLT}} \quad \text{Equação 4.1}$$

em que Q equivale à vazão média anual (Q_i) ou à média de toda a série histórica (Q_{MLT}).

Os resultados dos diagramas para aproveitamentos em determinados cursos d'água são apresentados na Figura 4.13.

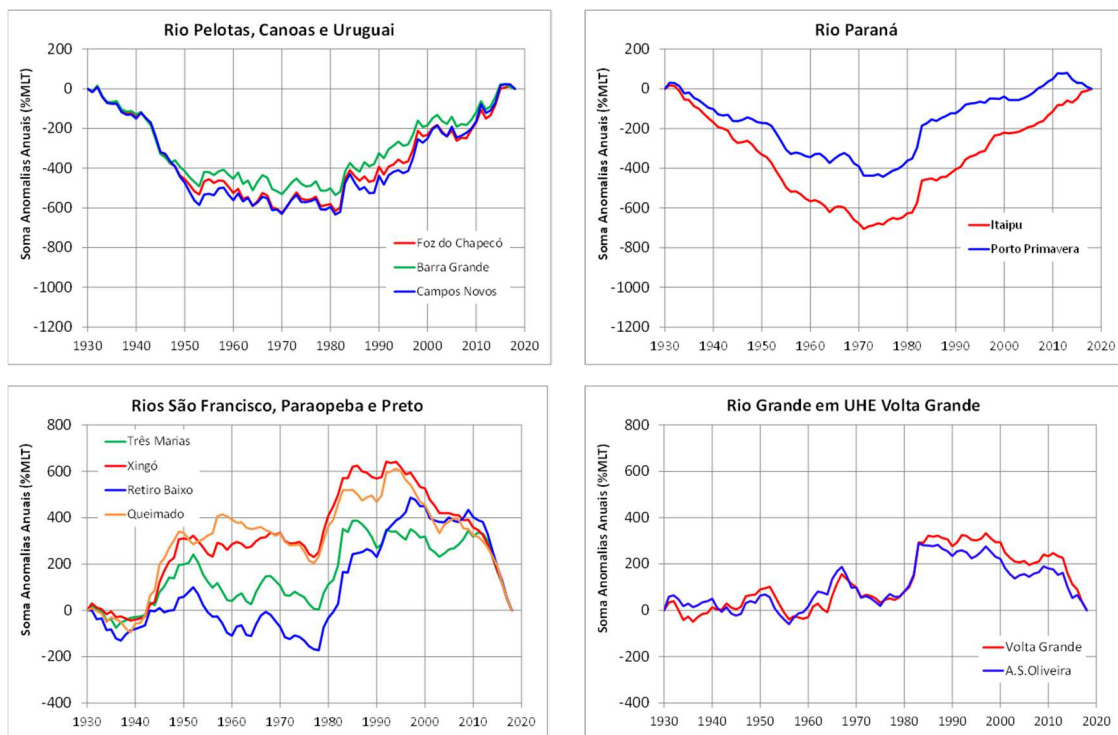


Figura 4.13 – Diagrama de massa residual para cursos d’água de bacias que compõem o SIN.

A partir de análises amplas nas bacias que compõem o SIN, definiram-se duas regiões com séries de vazões que apresentaram mudanças de comportamento nas últimas décadas: Região 1, em que se observam vazões abaixo da média desde meados da década de 90; e Região 2, com vazões acima da média a partir de meados da década de 70. Ambas as regiões são destacadas na Figura 4.14.



Figura 4.14 – Regiões em que se identificaram mudanças no comportamento hidrológico nas últimas décadas.

Procedendo-se com a média ponderada de diversos postos localizados nas duas regiões, calcularam-se os respectivos diagramas de massa residual, que puderam ser confrontados com os ciclos observados nos índices climáticos anteriormente discutidos. Os resultados são apresentados nas Figuras 4.15 e 4.16, onde podem ser observadas nítidas diferenças de comportamento das ENAs de cada região, em função dos ciclos dos oceanos Atlântico e Pacífico.

Adicionalmente, nas Figuras 4.17 e 4.18 são apresentados os diagramas de Rippl rebatido para os REEs Nordeste e Sudeste (representando a tendência decrescente das vazões) e Itaipu, Sul, Paranapanema e Iguaçu (tendência crescente), associando-os também com as fases frias e quentes dos índices AMO, CAR e MEI.

Guilderson e Schrag (1998), bem como Ray e Giese (2012) identificaram uma mudança no padrão de perfil vertical de temperatura no Pacífico Leste e mudanças no padrão do El Niño a partir de 1976, que coincidem com o aumento das vazões/ENAs da região 2. Já o início da atual fase quente do Atlântico, em meados da década de 90, coincide com o início das reduções de vazões/ENAs da Região 1. Além disso, o período de vazões/ENAs mais baixas do histórico dessa região, a partir de 2013, coincide com o período de temperaturas mais altas do mar do Caribe desde 1950.

A partir desses resultados, evidenciam-se possíveis relações entre as anomalias atualmente observadas nas séries históricas de vazões/ENAs e os ciclos de índices

climáticos. A análise dos impactos destes e de outros ciclos de TSM no regime fluviométrico das Regiões 1 e 2 requer estudos mais aprofundados, em nível de P&D, incorporando, inclusive, a previsibilidade destes índices e como eles poderiam ser empregados na consideração da não estacionariedade das séries e na geração de cenários de ENA no setor elétrico.

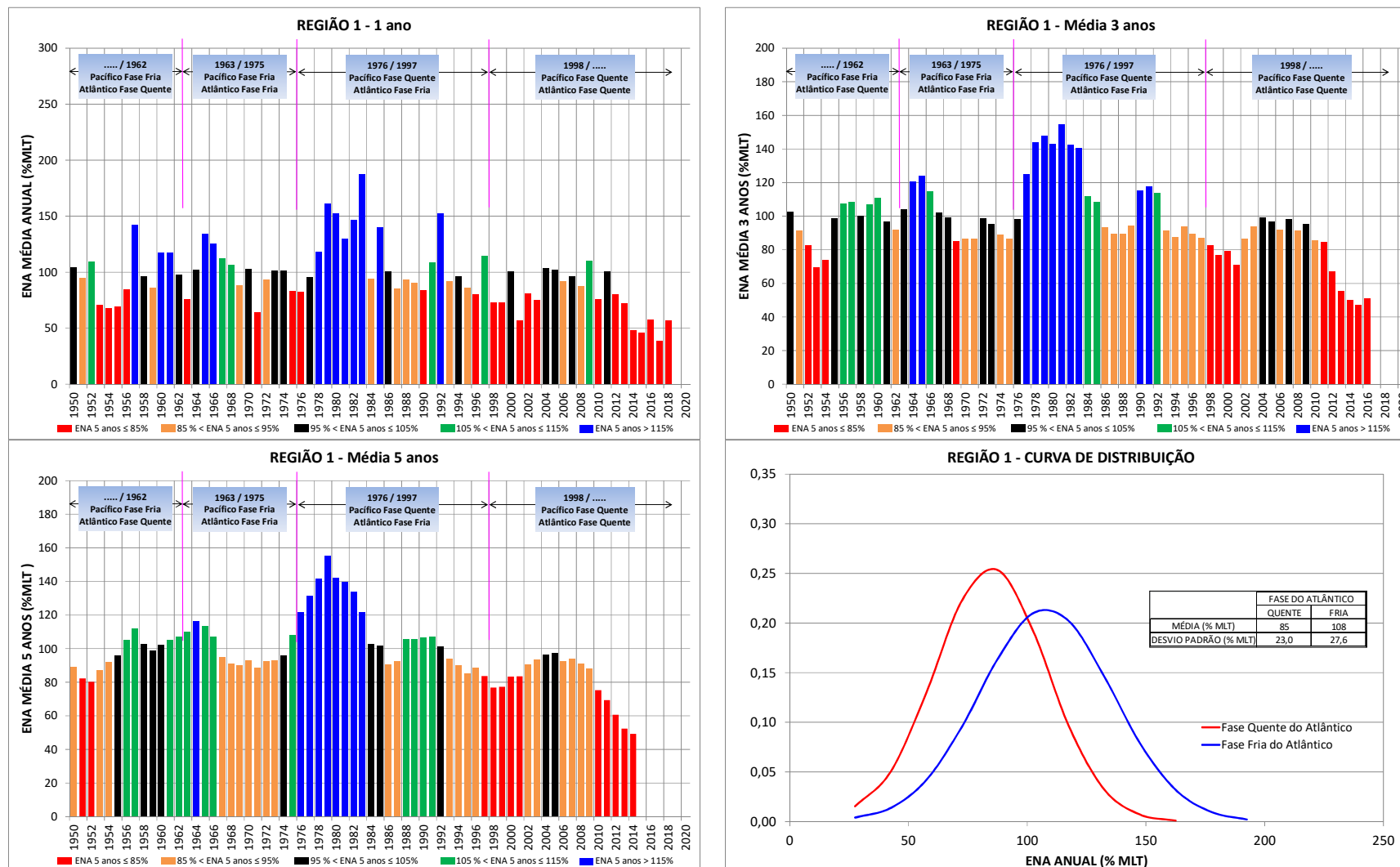


Figura 4.15 – Relação das ENAs médias do posto representativo da Região 1 com os ciclos do índice AMO.

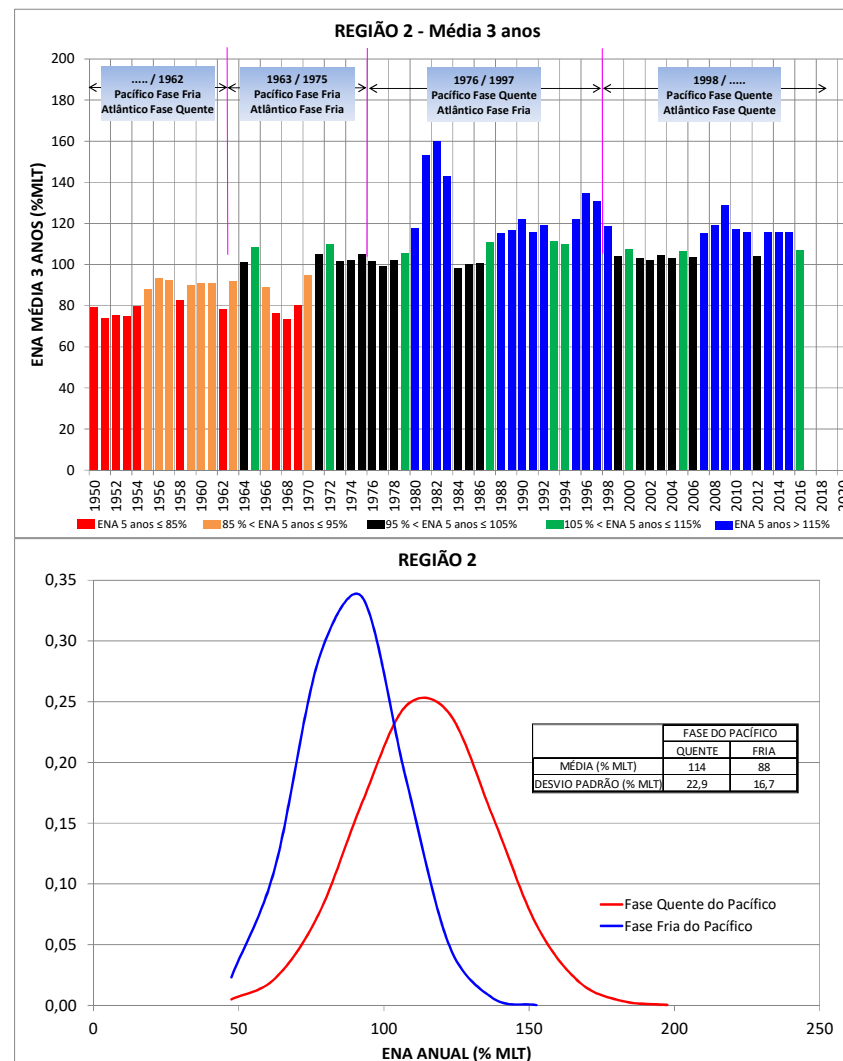
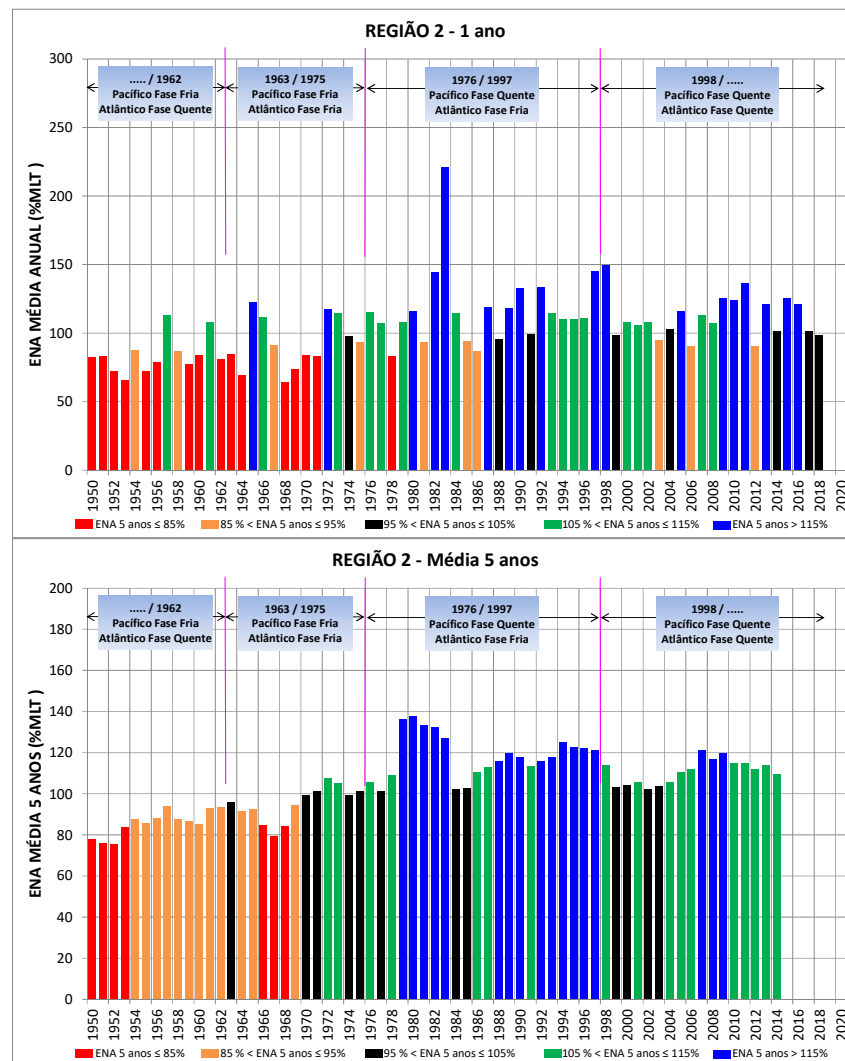


Figura 4.16 – Relação das ENAs médias do posto representativo da Região 2 com os ciclos do índice MEI.



Figura 4.17 – Diagrama de massa residual para os REEs Nordeste e Sudeste, evidenciando as vazões abaixo da média desde 1992.

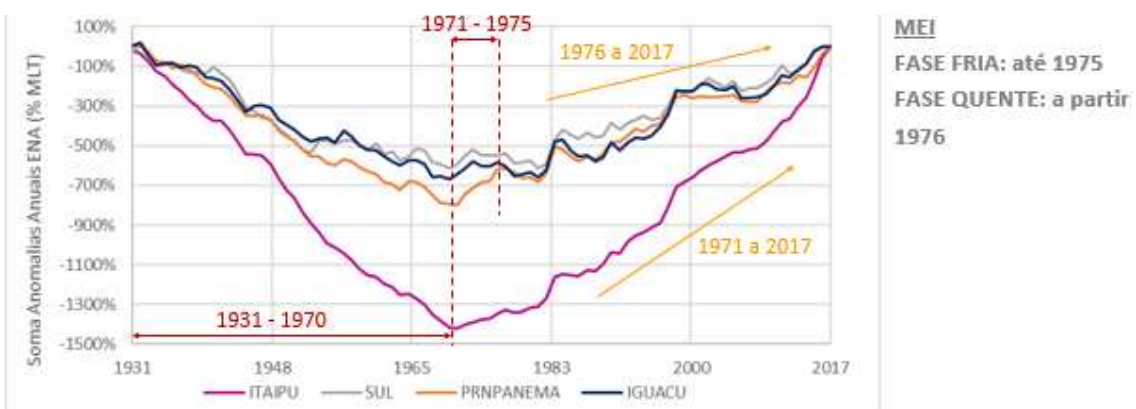


Figura 4.18 – Diagrama de massa residual para os REEs Itaipu, Sul, Paranapanema e Iguaçu, evidenciando as vazões acima da média desde a década de 70.

Embora as análises anteriores forneçam evidências claras de comportamento anômalo no passado recente, elas ainda não permitem afirmar se estas tendências se manterão nos anos seguintes ou se haverá uma nova mudança (por exemplo, nova reversão ao comportamento verificado em anos mais distantes). Assim sendo, este grupo de trabalho não dispõe de indicadores que permitam afirmar inequivocamente que o comportamento hidrológico aqui discutido se trata de uma mudança permanente ou de um estágio transitório de evento climático cíclico de longa duração, ou sequer atribuir probabilidades a qualquer destes dois estados.

Tendo isto em vista, são utilizadas na seção 4.3 técnicas de tomada de decisão sob incerteza ajustadas a cenários não-probabilísticos para subsidiar as recomendações deste relatório – a saber, as técnicas de decisão de *minimização da máxima perda* ou *minimização do máximo arrependimento*.

4.3. Efeitos práticos da alteração do histórico oficial na operação e planejamento do setor elétrico

A fim de analisar os efeitos práticos de se alterar o histórico oficial de vazões/ENAs nos processos de operação e planejamento do setor, discutiu-se a possibilidade de seleção de séries semelhantes aos ciclos climáticos do oceano anteriormente apresentados. A atual versão do modelo NEWAVE não permite a simulação de períodos distintos por posto/REE, de maneira que o GTMET tenha optado por realizar testes alterando o ano inicial do histórico (redução das séries oficiais), sempre mantendo os anos mais recentes por serem quando se identificaram as anomalias mais expressivas. Com base nos estudos apresentados, evidencia-se a importância de se analisar os impactos, vantagens e desvantagens de se considerar períodos distintos por REE, sendo esta implementação uma das deliberações para o próximo ciclo da atividade no GTMET.

Para avaliação dos efeitos práticos que essas reduções no histórico trariam à operação e/ou ao planejamento, pesquisaram-se mudanças nos comportamentos das seguintes variáveis de saída do NEWAVE:

- Ordem final do PAR(p)
- Correlação espacial entre REEs
- Energia Natural Afluente
- Energia armazenada
- Gerações hidráulica e térmica
- CMO/PLD

Os resultados foram analisados para o histórico oficial e para os casos com séries reduzidas, relacionando a decisão dos anos iniciais destas novas séries com os estudos apresentados nas seções anteriores.

4.3.1. Cenários simulados

Na Tabela 4.3 listam-se os cenários simulados, desde o oficial (início em 1931) até aqueles com amostras de tamanho reduzido, com as respectivas justificativas. Tais reduções no histórico implicam em alterações nas médias das séries históricas, apresentadas por submercado na Tabela 4.4.

Tabela 4.3 – Cenários simulados para análise de cortes no histórico.

ID _{SIMULAÇÃO}	Cenário simulado	Justificativa
1	Histórico com início em 1931	Histórico oficial atualmente empregado
2	Histórico com início em 1945	Redução da amostra dada a menor quantidade/qualidade dos monitoramentos mais antigos, mas ainda preservando o período crítico adotado no setor elétrico (Jun/49 a Nov/56)
3	Histórico com início em 1976	Relação com o início da fase quente do índice climático MEI, quando se observou a tendência de aumento das vazões na região Sul (vide subcapítulo 4.2.3)
4	Histórico com início em 1987	Fixados 30 anos de dados (considerando a consistência do ONS realizada até o ano de 2017 para as vazões/ENAs), similar ao conceito de climatologia empregado na meteorologia
5	Histórico com início em 1992	Relação com a tendência de redução das ENAs nos REEs Nordeste e Sudeste (Figura 4.18), priorizando um tamanho de amostra aplicável a estudos estatísticos (25 anos)
6	Histórico com início em 1998	Relação com o início da fase quente dos índices climáticos AMO e CAR, quando se observou a tendência de redução das vazões na região Nordeste e em parte do Sudeste (vide subcapítulo 4.2.3)

Tabela 4.4 – Alterações na MLT por submercado nos cenários analisados (% MLT oficial 1931-2017).

Caso simulado	Sudeste / Centro-Oeste	Sul	Nordeste	Norte
(2) Histórico com início em 1945	101%	103%	100%	99%
(3) Histórico com início em 1976	106%	114%	94%	101%
(4) Histórico com início em 1987	102%	116%	81%	96%
(5) Histórico com início em 1992	102%	118%	79%	95%
(6) Histórico com início em 1998	99%	116%	73%	92%

Na Tabela 4.4 observa-se que as reduções na série histórica representaram alterações de -27% a +18% das MLTs, sendo os aumentos mais expressivos no submercado Sul e as maiores reduções, no Nordeste. No Sudeste/Centro-Oeste este efeito é pouco nítido, uma vez que o submercado abrange bacias com anomalias negativas nos anos mais recentes (como verificado nos rios Grande, Paranaíba e alto São Francisco), anomalias positivas (i.e. Paranapanema e incremental de Itaipu) e também séries sem tendências de acréscimo ou redução significativas (no caso dos rios Madeira e Teles Pires). No submercado Norte, a adoção de históricos menores representa redução das médias, também menos relevantes.

No Anexo A apresentam-se, adicionalmente, os gráficos de ENA média anual por REE, destacando as alterações que ocorreriam nas MLTs caso o histórico fosse reduzido nos anos indicados na Tabela 4.4.

As simulações foram realizadas no modelo NEWAVE nas versões válidas à época de cada caso, listados abaixo:

- Julho/2018 (versão 24): meados do período seco – simulações 1 a 6 (Tabela 4.3);
- Novembro/2018 (versão 24): início do período úmido – simulações 1 e 6;
- Janeiro/2019 (versão 25): meados do período úmido – simulações 1 a 6;
- LEN A-4/2018 (versão 25.2): caso Base do Leilão de Energia Nova A-4/2018 para Cálculo das Garantias Físicas, divulgado pela EPE em seu site no dia 21/02/2018– simulações 1, 5 e 6; e
- PDE 2026 (versão 25.2): caso base do Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 que é um documento informativo voltado para toda a sociedade, com uma indicação, e não determinação, das perspectivas de expansão futura do setor de energia sob a ótica do Governo no horizonte até 2026 – simulações 1 e 6.

4.3.2. Resultados do modelo NEWAVE

- Ordem final do PAR(p)

Na Figura 4.19 observam-se as ordens finais selecionadas no PAR(p) (modelo periódico autorregressivo de geração de séries sintéticas de energia) nas simulações

do PMO de Julho/2018 e Janeiro/2019 (realizadas para todos os seis cenários propostos), para os REEs Itaipu e Nordeste. Estes REEs são representativos de regiões que teriam a MLT significativamente modificada caso o histórico fosse reduzido (Figuras A.III e A.IX do Anexo A, respectivamente).



Figura 4.19 – Ordem final do PAR(p) para os REEs Itaipu e Nordeste para os cenários de redução do histórico - PMO de Julho/2018 e Janeiro/2019.

No geral, o cenário com início no ano de 1945 (ID 2 na Tabela 4.4) não apresentou diferenças expressivas em relação aos PMOs oficiais, evidenciando que eliminar os 14 primeiros anos do histórico pouco influenciaria os resultados. A partir do cenário de histórico com início em 1976 já se observam reduções nas ordens finais do PAR(p), principalmente nos meses do período chuvoso no REE Nordeste. Estas alterações se refletem diretamente na geração das séries sintéticas de afluências do NEWAVE, conforme será apresentado posteriormente.

- Correlação espacial entre REEs

Para os mesmos dois REEs, apresentam-se na Figura 4.20 as correlações espaciais anuais entre reservatórios equivalentes. A redução gradativa do histórico nas simulações não impactou expressivamente as referidas relações, mantendo as

proporções observadas nos casos oficiais (histórico desde 1931). Em alguns casos, houve a inversão do sinal da correlação (i.e. REE Itaipu com o REE Paraná), o que não foi identificado entre os REEs com as maiores correlações.

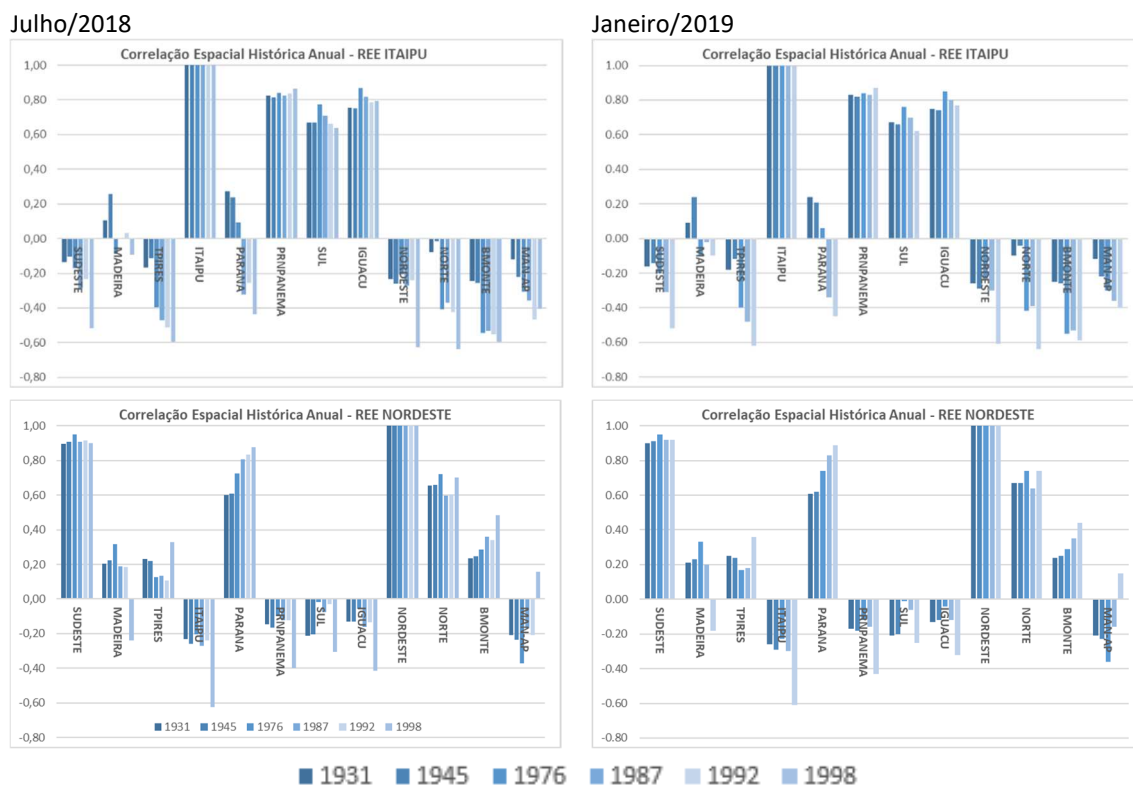


Figura 4.20 – Correlações espaciais anuais para os REEs Itaipu e Nordeste para os cenários de redução do histórico - PMO de Julho/2018 e Janeiro/2019.

Ressalta-se que, caso se implemente no modelo NEWAVE a funcionalidade de simulação de diferentes períodos do histórico para cada REE, dever-se-á homogeneizar um período em comum das séries para que a correlação espacial entre elas seja calculada.

- Energia Natural Afluente

Nas Figuras B.I a B.V do Anexo B apresentam-se os resultados das simulações para o SIN e submercados. Novamente, a redução dos primeiros 14 anos do histórico (início em 1945) pouco alterou os resultados, evidenciando que tal opção não justificaria o esforço associado a essa modificação em todo o processo.

As demais alternativas para redução do histórico pouco alteraram as ENAs projetadas para o SIN, dado que o Sudeste, principal formador desta variável, também não apresentou diferenças expressivas. Além disso, o aumento da ENA no Sul

compensa a redução no Nordeste, sendo estes os submercados que apresentaram as maiores diferenças ao longo dos cinco anos.

O padrão de resultados se manteve tanto para estudos de planejamento da operação e formação de preço, quanto para estudos de planejamento da expansão.

- Energia armazenada

Nas Figuras B.VI a B.X (Anexo B) apresentam-se os resultados de energia armazenada no SIN e por submercado para os cenários simulados. As diferenças mensais dos volumes armazenados são nítidas e ocorrem em todo o horizonte para os quatro submercados.

No Sudeste, enquanto o caso do PMO de Julho/2018 apresenta maiores volumes armazenados quando comparado aos cenários com redução do histórico, o caso de Janeiro/2019 apresenta a situação contrária (maior armazenamento nas simulações com histórico truncado).

Nos estudos de planejamento da expansão observam-se maiores diferenças de energia armazenada, destacando-se os casos de extensão de histórico a partir de 1976 apresentarem valores mais reduzidos de armazenamento, especialmente no período seco.

- Gerações hidráulica e térmica

No SIN, a geração hidráulica é aumentada em todos os anos do horizonte quando do truncamento das séries históricas. Isso ocorre devido à maior disponibilidade hídrica nas bacias mais ao sul do país, inclusive naquelas com significativa parcela qualificada como energia não controlável (i.e. incremental de Itaipu). Consequentemente, tem-se a redução expressiva da geração térmica no SIN. Os gráficos detalhados para o sistema e por submercado podem ser consultados nas Figuras B.XI a B.XX.

Nos estudos de planejamento da expansão observam-se dois tipos de compensação envolvendo tanto a geração hidráulica quanto a termelétrica. Neste sentido, como a energia armazenada dos casos de histórico com início a partir de 1976 foram inferiores às demais, a geração hidráulica apresentou significativo aumento, compensando, de alguma maneira a diferença de energia armazenada via equações de balanço hídrico, recordando aqui que se observou pouca variação de ENA. Outra relação de compensação observada retrata as equações de atendimento a demanda,

em que decorrente, do aumento da geração hidráulica observa-se redução da geração termelétrica, nos casos de construção de histórico a partir 1976.

- CMO/PLD

O CMO responde diretamente à conjuntura ocasionada pela redução do histórico: com maior disponibilidade de geração hidráulica (principalmente nos REEs Paranapanema, Itaipu, Sul e Iguaçu) e menor geração térmica, observa-se a queda expressiva do CMO em todo o horizonte de resultados do modelo NEWAVE. Na Figura B.XXI apresentam-se os CMOs médios mensais para o Sudeste. Este mesmo comportamento é verificado nos demais submercados.

Cabe aqui enfatizar que, apesar da lógica existente na redução dos CMOs (o truncamento do histórico ocasiona em maior geração hidráulica e menor térmica), na prática, a sistemática ocorrência de vazões extremamente reduzidas nos últimos seis anos nas bacias dos rios Grande, Paranaíba, Tocantins e São Francisco não permitiu o enchimento dos grandes reservatórios existentes nessas bacias, nem mesmo uma recuperação significativa de armazenamento. Ao contrário, uma eventual redução da geração térmica levaria a armazenamentos ainda inferiores aos atuais. Entende-se que o modelo deveria priorizar o armazenamento em determinadas situações, devendo esta questão ser prioridade do grupo para análise no próximo ciclo.

4.3.3. Decisão sob incerteza

As análises do histórico de vazões e ENAs (subcapítulos 4.1 e 4.2) evidenciam mudanças no comportamento hidrológico das séries nos períodos mais recentes, seja com tendências de acréscimo (como tem ocorrido nas bacias mais ao sul) ou de redução (observadas principalmente no Nordeste e parcela centro-norte da região Sudeste). Ao longo dos estudos deste ciclo, apresentaram-se possíveis relações destas anomalias com as fases de determinados índices climáticos, na tentativa de compreender o processo e classificá-lo como uma mudança estrutural ou como parte de um ciclo de longa duração.

Dado que as conclusões ainda não permitem afirmar como a hidrologia se comportará no futuro, ou sequer atribuir inequivocamente probabilidades a estes dois eventos (mudança estrutural ou parte de ciclo de longa duração), é recomendado o

emprego de metodologias que permitam a tomada de decisão com base no conhecimento do risco de arrependimento caso tal decisão seja incorreta. Assim, optou-se pela aplicação de metodologias de decisão sob incerteza. Em particular, interessa avaliar as seguintes hipóteses e seus correspondentes erros:

- Hipótese I: manter o histórico oficial e constatar futuramente que as anomalias identificadas são estruturais;
- Hipótese II: alterar o histórico oficial (redução da série) e constatar futuramente que não houve alterações atípicas no comportamento hidrológico, sendo elas parte de um ciclo de longa duração.

A partir desse tipo de análise, quantificam-se possíveis impactos da decisão incorreta a longo prazo, visto que a probabilidade de o histórico ter se alterado é desconhecida.

O suporte à tomada de decisão se deu pelos métodos de minimização do máximo custo e minimização do máximo arrependimento, explicitadas pelas matrizes de tipos de erro (decisão x estado da natureza) indicadas nas Tabelas 4.5 e 4.6.

Tabela 4.5 – Matriz representativa da decisão sob incerteza pelo método de minimização do máximo custo.

Teste de hipóteses		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Custo
		Sem alteração	Com alteração	
Decisão (Política Operativa: FCF)	Sem alteração	W	X	A = MÁXIMO (W, X)
	Com alteração	Y	Z	B = MÁXIMO (Y, Z)
DECISÃO				Alternativa a adotar é aquela que leva a MÍNIMO (A, B)

Tabela 4.6 – Matriz representativa da decisão sob incerteza pelo método de minimização do máximo arrependimento.

Teste de hipóteses		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Arrependimento
		Sem alteração	Com alteração	
Decisão (Política Operativa: FCF)	Sem alteração	$W - W = 0$	$X - Z$	$A =$ MÁXIMO (0, $X - Z$)
	Com alteração	$Y - W$	$Z - Z = 0$	$B =$ MÁXIMO ($Y - W$, 0)
DECISÃO				Alternativa a adotar é aquela que leva a MÍNIMO (A, B)

Procedeu-se, então, com as simulações no NEWAVE dos seguintes cenários:

- W: simulação completa e oficial, atualmente empregada nos casos de PMO. Parte-se do estado da natureza considerado oficial (histórico desde 1931) e obtém-se a política operativa (Função de Custo Futuro - FCF);
- Z: simulação completa com redução do histórico nos anos indicados anteriormente. Parte-se do estado da natureza modificado (histórico desde o ano XXXX) e obtém-se a política operativa (Função de Custo Futuro);
- X: simulação final do NEWAVE (*flag* na linha 2 do arquivo DGER.dat) com redução do histórico nos anos indicados anteriormente (alteração do estado da natureza: cenário Z) e emprego da política operativa oficial (FCF obtida na simulação do cenário W); e
- Y: simulação final no NEWAVE (*flag* na linha 2 do arquivo DGER.dat) com o estado da natureza oficial (histórico desde 1931: cenário W) e emprego da política operativa a partir da redução do histórico (FCF obtida na simulação do cenário Z).

Essa metodologia de troca das políticas operativas nas simulações (cenários X e Y) permite a quantificação do erro caso a decisão tomada (representada pela política operativa – FCF) não corresponda ao estado da natureza que venha a ser observado (histórico de vazões adotado). Na prática, as simulações foram realizadas a partir dos resultados dos cenários W e Z, trocando os arquivos *cortes.dat* e *cortesh.dat* (FCF) para representação da política operativa da decisão contrária.

A partir dos resultados dos custos de operação para cada cenário, obtém-se as informações necessárias à aplicação das matrizes das Tabelas 4.5 e 4.6. Os resultados

são apresentados nas Tabelas C.I a C.IV, no Anexo C, sendo as possíveis decisões resumidas na Tabela 4.7.

Idealmente, seriam feitas simulações encadeadas para subsidiar a obtenção dos valores X, Y, W e Z. Os encadeamentos corresponderiam, a cada mês, a obter uma função de custo futuro e depois simular probabilisticamente a operação do sistema considerando o procedimento adotado, e depois alimentar com os níveis finais dos reservatórios e a série verificada de hidrologia as rodadas do mês seguinte, com tantas rodadas quantos cenários hidrológicos simulados houver. Tal procedimento não foi viável devido a restrições de tempo para a elaboração deste relatório, e tampouco o foram aproximações simplificadas dele. Adotou-se, então, a aproximação simplificada deste procedimento, descrita na seção 4.3.4. Apesar desta simplificação, mantêm-se as conclusões apresentadas neste relatório para o ciclo 2018/2019.

Tabela 4.7 – Resultados das metodologias de decisão sob incerteza para os casos e cenários simulados: custo total de operação (horizonte de 5 anos).

Caso/cenário simulado	Decisão sob incerteza	
	Mínimo Máximo Custo	Mínimo Máximo Arrependimento
Julho/2018 Oficial x Início em 1945	Alterar o histórico	Alterar o histórico
Julho/2018 Oficial x Início em 1976	Alterar o histórico	Alterar o histórico
Julho/2018 Oficial x Início em 1987	Manter o histórico oficial	Alterar o histórico
Julho/2018 Oficial x Início em 1992	Manter o histórico oficial	Alterar o histórico
Julho/2018 Oficial x Início em 1998	Manter o histórico oficial	Alterar o histórico
Janeiro/2019 Oficial x Início em 1945	Manter o histórico oficial	Alterar o histórico
Janeiro/2019 Oficial x Início em 1976	Manter o histórico oficial	Alterar o histórico
Janeiro/2019 Oficial x Início em 1987	Manter o histórico oficial	Manter o histórico oficial
Janeiro/2019 Oficial x Início em 1992	Manter o histórico oficial	Manter o histórico oficial
Janeiro/2019 Oficial x Início em 1998	Falha na simulação	Falha na simulação
LEN A-4/2018 Oficial x Início em 1992	Manter o histórico oficial	Manter o histórico oficial
LEN A-4/2018 Oficial x Início em 1998	Manter o histórico oficial	Alterar o histórico
PDE 2026 Oficial x Início em 1992	Manter o histórico oficial	Manter o histórico oficial

Dado que a metodologia do mínimo máximo arrependimento leva a decisões com nível de conservadorismo menor ou igual à outra metodologia, e considerando a recomendação de se tomar decisões com elevado nível de conservadorismo face às incertezas sobre a manutenção ou não do comportamento hidrológico recente nos anos vindouros, direcionaram-se as análises dos resultados da matriz de decisão sob incerteza por mínimo máximo custo.

Apesar da possibilidade de se revisarem os estudos anualmente e, com isso, optar-se pelo cálculo e análise dos custos de operação fixadas em 12 meses à frente, o processo se tornaria pouco prático e de difícil reprodução para atendimento às demandas de mercado. Priorizou-se, então, manter a avaliação dos resultados para o custo total de operação (horizonte de 5 anos do modelo NEWAVE).

Quanto aos resultados resumidos na Tabela 4.7, acredita-se serem de maior representatividade aqueles obtidos para o caso do PMO de Janeiro/2019, visto que é o mais recente (condições atuais do sistema), além dos casos de cálculo de garantia física para os leilões de energia nova e do Plano Decenal da Expansão (PDE) comumente utilizados pela EPE. A maioria das alternativas simuladas indica para a decisão de não alteração do histórico, medida mais conservadora frente à incerteza de que as anomalias recentes identificadas nas séries históricas sejam reflexo de mudanças estruturais no sistema.

A partir desta constatação, o GTMET direcionou os estudos para a análise exaustiva de um dos cenários de redução do histórico, dentre os cinco avaliados até então, a fim de indicar com segurança uma decisão durante o ciclo de trabalho 2018/2019. Tais verificações são apresentadas na sequência.

4.3.4. Análise exaustiva: início do histórico em 1992

Dentre os cenários de redução no histórico simulados, aquele com início em 1945 mostrou que a redução de apenas 14 anos não agregaria novos resultados, visto que pouco altera MLT, armazenamento e demais variáveis. Este cenário se mostrou, então, pouco interessante, dado o esforço exigido para modificação do histórico oficial em todos os processos de planejamento, operação e comercialização.

Avaliando-se os resultados de se iniciar o histórico em 1976, o modelo NEWAVE apresentou uma visão otimista de afluências, impactando diretamente em maior geração hidráulica a longo prazo, situação pouco representativa do atual cenário observado, principalmente nas bacias localizadas no Nordeste e na parcela centro-norte do Sudeste. Ressalta-se que este cenário foi proposto observando o início da tendência positiva de vazões/ENAs na região Sul, podendo estar associada às fases do índice MEI, o que deve ser mais aprofundado em estudo com equipe técnica especializada.

Também relacionado à tendência das séries hidrológicas e aos índices climáticos, o emprego do histórico a partir do ano de 1998 representa, principalmente, a redução das ENAs no Sudeste/Nordeste. No entanto, este caso considera uma série histórica de cerca de 20 anos, amostra considerada ainda pequena para análises estatísticas.

A redução do histórico para o cenário 1987-atual mostrou-se interessante, uma vez que a consideração contribuiu para a melhora da qualidade da variância da amostra, além de aproximar-se do requisito adotado na definição de normais climatológicas, em que são utilizadas séries contendo no mínimo 30 anos consecutivos.

Por fim, o cenário de início do histórico em 1992, definido por ser o ponto de inflexão para o corte de determinados REEs pelo diagrama de Rippl rebatido (Figura 4.17) e também em concomitância com a variabilidade de índices climáticos, se mostrou o mais favorável nas discussões do GTMET. Apesar de considerar 5 anos a menos que o caso com início em 1987, o cenário indicou referências de ENAs históricas médias (%MLT) similares às do histórico de 30 anos. Assim sendo, decidiu-se pela análise exaustiva das simulações e resultados para o histórico desde 1992 até o período atual.

Para tal, optou-se por empregar nas simulações as funcionalidades de reamostragem dos cenários de afluência da *forward* e centroide, dadas as conclusões do GTMET de que elas agregam melhorias importantes aos resultados do modelo. Portanto, utilizou-se a versão 25.5 para simulações encadeadas ano a ano, com três classes de séries hidrológicas: otimistas, médias e pessimistas (obtidas a partir das parcelas de 1/3 das 2000 séries geradas pelo NEWAVE). Na Figura 4.21 apresenta-se

um fluxograma resumo do processo de simulação realizado com início do histórico em 1992 e para o caso oficial do PMO de Janeiro/2019.

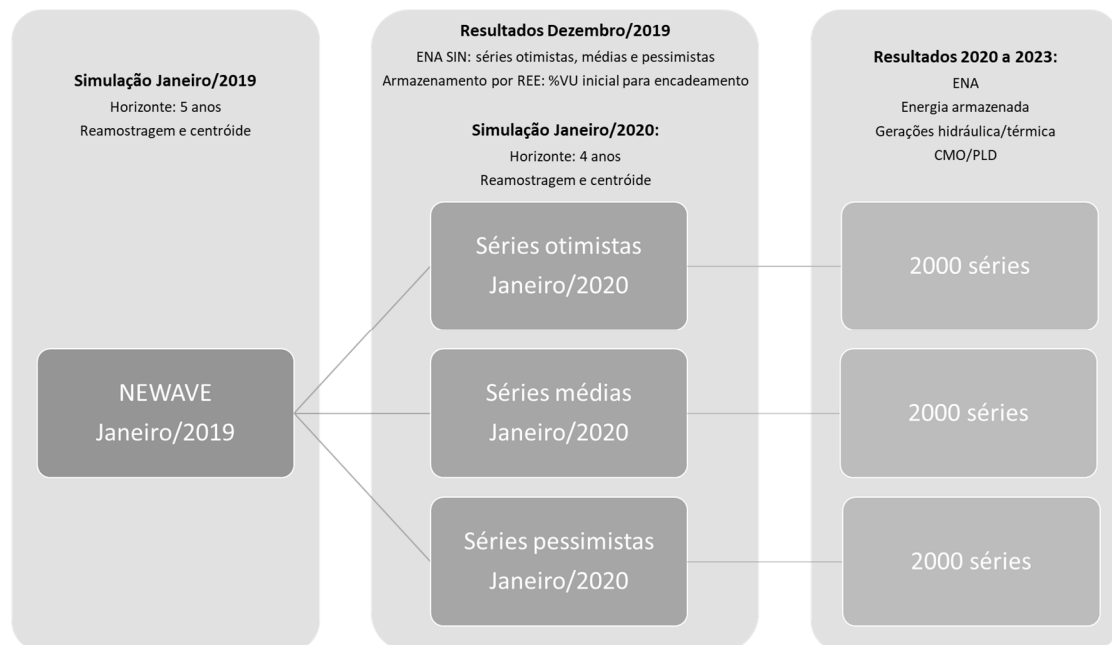
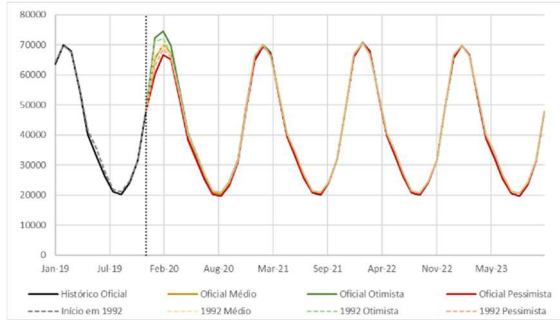


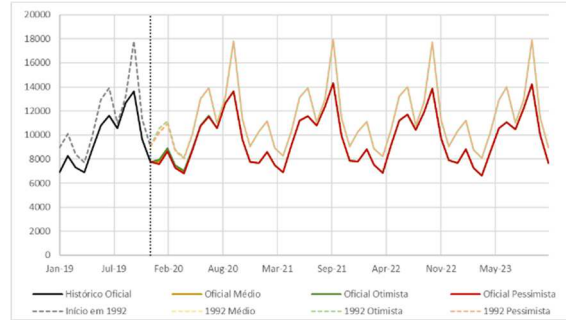
Figura 4.21 – Fluxograma resumo das simulações encadeadas por ano, com três classes de séries hidrológicas.

Os resultados são apresentados nas Figuras 4.22 e 4.23 e Figuras B.XXII a B.XXIV (Anexo B).

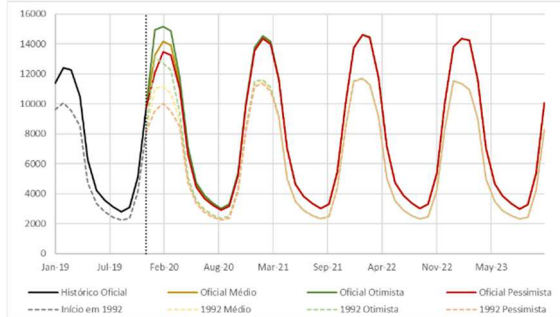
Sudeste



Sul



Nordeste



Norte

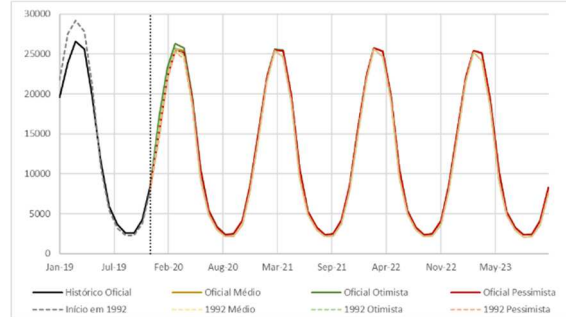
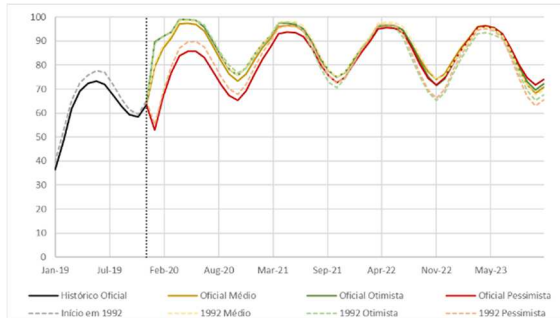
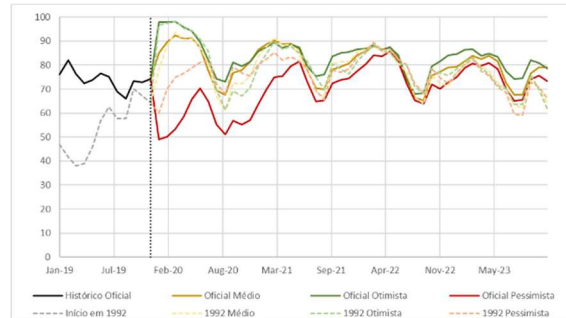


Figura 4.22 – Evolução da ENA média das 2000 séries geradas no NEWAVE para os cenários de encadeamento anual (histórico oficial e com início em 1992).

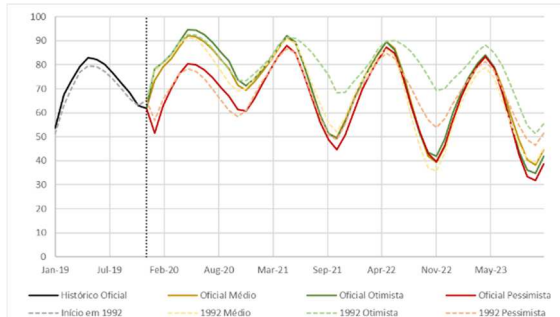
Sudeste



Sul



Nordeste



Norte

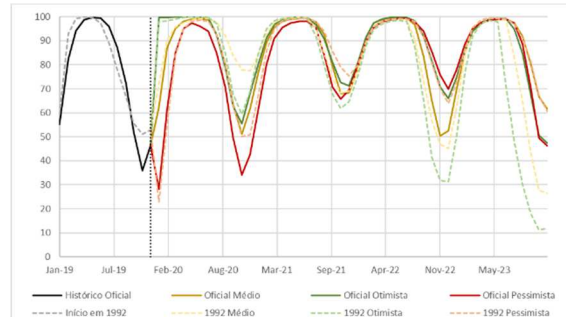


Figura 4.23 – Evolução da energia armazenada média das 2000 séries geradas no NEWAVE para os cenários de encadeamento anual (histórico oficial e com início em 1992).

Como observado nos resultados apresentados na seção 4.3.2, a redução do histórico para início em 1992 representaria o aumento das ENAs no Sul e a sua

diminuição no Nordeste. Nos demais submercados os impactos nos cenários de ENA gerados seriam pouco expressivos. Em termos de energia armazenada (Figura 4.23), os resultados da simulação com NEWAVE indicam redução do armazenamento ao longo dos 5 anos nos reservatórios do Sul, uma vez que a geração hidráulica é aumentada (também verificado na Figura B.XXII no Anexo B, para o SIN). Por outro lado, no Nordeste, dada a menor disponibilidade de água no histórico truncado, o armazenamento se eleva.

Ressalta-se que a decisão de redução do histórico oficial, favoreceria, por exemplo, a ENA no Sul e a afluência incremental de Itaipu, REEs com maior geração a fio d'água e com menor ou nenhuma representatividade no armazenamento. Em contrapartida, os REEs que contêm os maiores reservatórios de regularização do SIN teriam suas MLTs reduzidas com o truncamento.

Complementarmente, apresenta-se na Figura 4.24 os resultados das 2000 séries da simulação final para ambos os cenários simulados em *boxplot*, possibilitando as análises de mínimos, máximos, mediana e quartis gerados pelo modelo para o primeiro ano do horizonte (2019) nos submercados Sul e Nordeste, por serem os que apresentaram maiores diferenças entre as simulações.

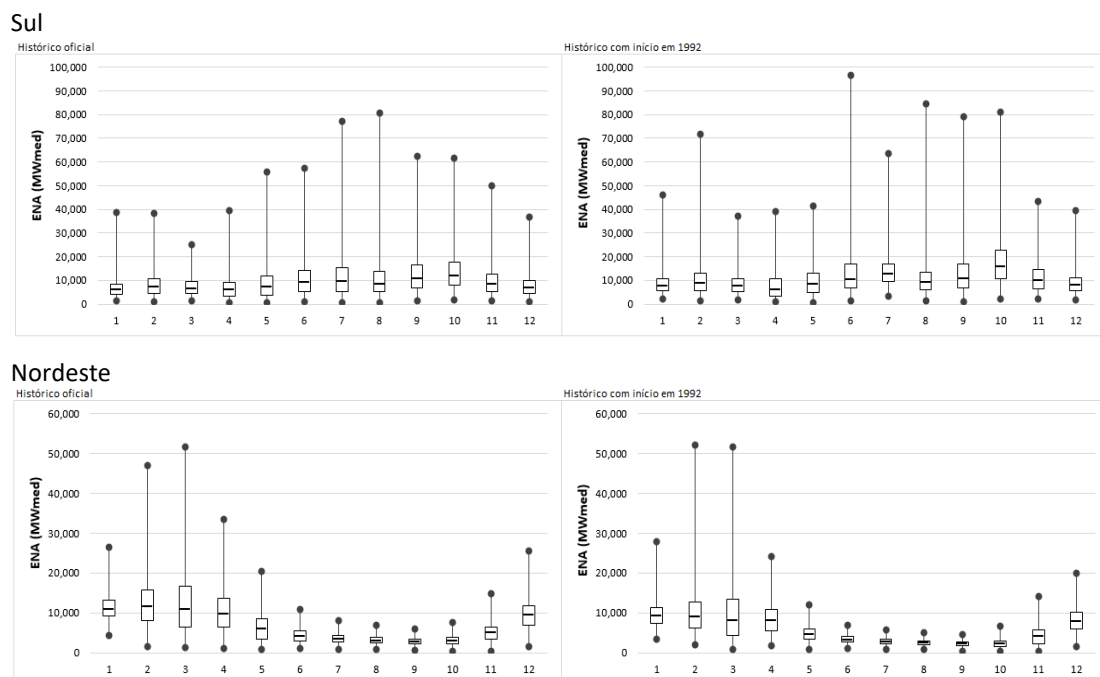


Figura 4.24 – Boxplot representativos dos cenários de ENA gerados pelo modelo NEWAVE no primeiro ano do horizonte para o caso do PMO de Janeiro/2019.

Observa-se na figura acima que a redução do histórico no Sul implicou na ocorrência de ENAs máximas maiores em todos os meses do primeiro ano, bem como maior amplitude entre os 1º e 3º quartis. No Nordeste, as ENAs máximas não apresentaram diferenças importantes, ainda que a amplitude entre os meses de abril e outubro tenha se reduzido.

As possíveis decisões pelas metodologias anteriormente descritas são dispostas na Tabela 4.8. Nesta, os resultados dos três cenários (séries otimistas, médias e pessimistas) foram considerados como um único cenário médio (6000 séries da etapa final indicada na Figura 4.21), dado que, dificilmente, as tomadas de decisão do mercado se baseariam em cenários essencialmente otimistas ou médios, necessitando agregar uma análise robusta. Assim, esta média é comparada ao cenário pessimista para aplicação do mínimo máximo custo e mínimo máximo arrependimento.

Tabela 4.8 – Resultados das metodologias de decisão sob incerteza para os casos com encadeamento anual, empregando reamostragem e centróide.

Período de análise	Decisão sob incerteza	
	Médio (otimista, média e pessimista)	Pessimista
2019	Manter oficial ¹ / Manter oficial ²	Manter oficial ¹ / Manter oficial ²
2019 a 2020		
2019 a 2021		
2019 a 2022		
2019 a 2023		

¹Decisão a partir da metodologia de Mínimo Máximo Custo / ²Decisão a partir da metodologia de Mínimo Máximo Arrependimento

A aplicação das metodologias de decisão sob incerteza para ambos os casos (média dos cenários e apenas o pessimista) também indicou para a decisão de se manter o histórico oficial para todos os horizontes avaliados quando do encadeamento anual das simulações.

Adicionalmente, de forma a avaliar detalhadamente a alternativa de considerar o histórico a partir de 1992, nos processos de planejamento da expansão, decidiu-se proceder os cálculos de carga crítica e blocos hidráulico e térmico, e assim, avaliar as consequências da decisão de mudança do histórico de vazões na contratação de empreendimentos de geração nos leilões de energia nova. Estes resultados são apresentados nos gráficos das Figuras 4.25, 4.26 e 4.27.

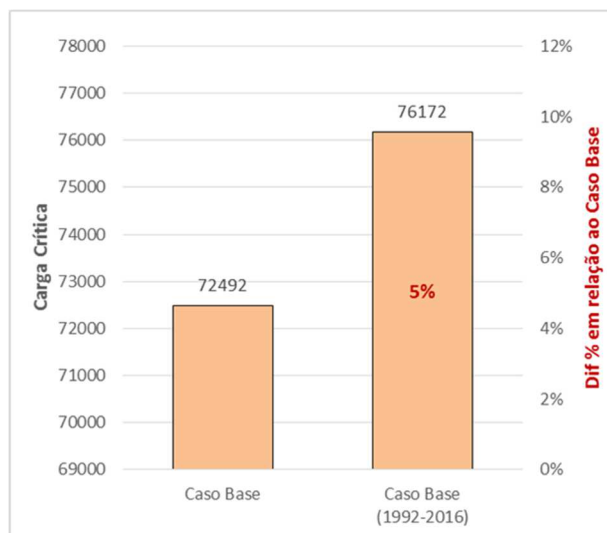


Figura 4.25 – Comparação da Carga Crítica com o histórico a partir de 1992.

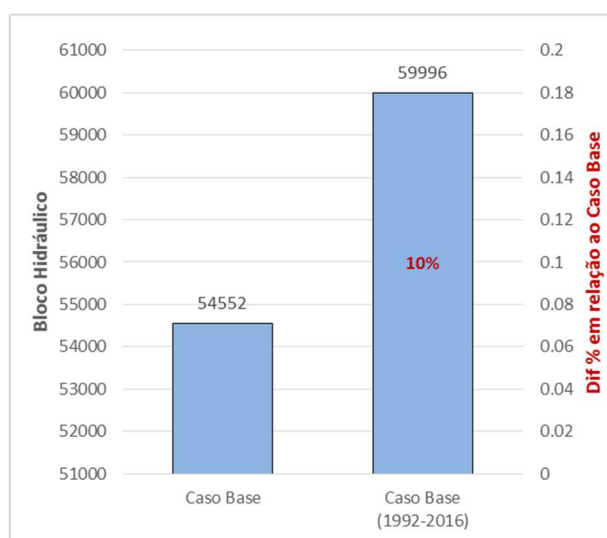


Figura 4.26 – Comparação do Bloco Hidráulico com o histórico a partir de 1992.

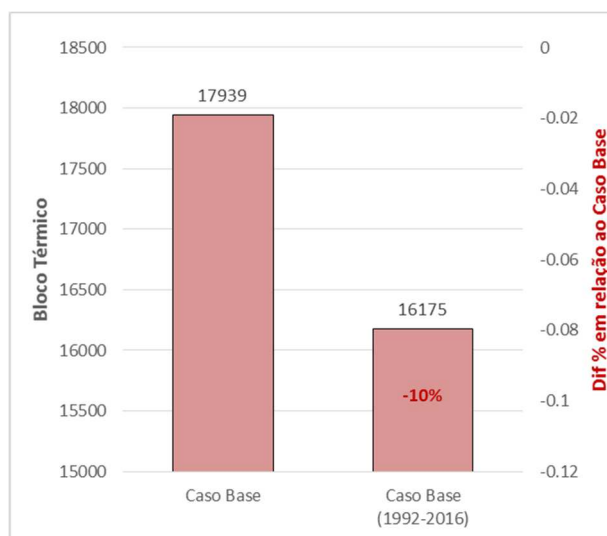


Figura 4.27 – Comparação do Bloco Hidráulico com o histórico a partir de 1992.

Os resultados mostram que a decisão de reduzir o histórico, considerando apenas os anos posteriores a 1992, implicaria em um aumento da carga crítica do SIN de 5%, que teria seu efeito amplificado nos blocos hidráulico e térmico, sendo que o primeiro aumentaria em 10% e o segundo reduziria também em 10%.

Portanto, a decisão acima, além de reduzir a indicação de necessidade futura (o mesmo sistema é capaz de atender uma carga crítica maior) aponta no sentido de aumento da garantia física das usinas hidrelétricas. Diante desses resultados constata-se que a decisão implicaria em aumentar o otimismo nos estudos de planejamento em sentido contrário ao que se espera da presente avaliação de mudanças estruturais, especialmente, levando em conta a crise hídrica dos últimos anos. Ressalta-se que esta conclusão está de acordo com as análises apresentadas anteriormente para planejamento da operação e formação de preço.

4.3.5. Vantagens x desvantagens

Em resumo aos resultados apresentados, listam-se na Tabela 4.9 vantagens e desvantagens elencadas caso se opte pela redução do histórico oficial.

Tabela 4.9 – Vantagens e desvantagens de se alterar o ano inicial do histórico oficial.

Vantagens	Desvantagens
Maior representatividade do comportamento hidrológico recente na geração de cenários para os primeiros meses da modelagem.	Ainda que haja maior representatividade do histórico recente, não há garantias de que tendências recentes se manterão no futuro, sendo que a técnica de tomada de decisão do mínimo máximo custo aponta para a decisão de não truncar o histórico A partir do 2º ano, o modelo tende a gerar cenários cuja a média se aproxima da MLT nem sempre representativos das anomalias verificadas recentemente.
Eliminação de possíveis fontes de desvios nos registros.	Possibilidade de eliminação de eventos extremos de cheias ou estiagens.
Possibilidade de revisão anual ou em periodicidade pré-determinada.	Incerteza quanto à natureza das anomalias e se elas representam mudanças estruturais ao sistema.
A consideração de menores ENAs na região Nordeste favorece o armazenamento a longo prazo no modelo (menor geração hidráulica no subsistema).	A consideração de maiores ENAs na região Sul favorece a geração hidráulica no subsistema, reduzindo o armazenamento a longo prazo.

Vantagens	Desvantagens
Redução do custo total de operação, devido ao menor acionamento de térmicas comparativamente ao cenário oficial (histórico desde 1931).	Dificuldade de ajuste da função perdas a fio d'água devido ao tamanho reduzido da amostra. Obs.: Como solução, na versão 25.6.1 do programa NEWAVE foi incluída uma restrição no ajuste do modelo MARS de forma que todas as retas oriundas deste modelo tenham inclinação menores ou iguais a 1.
Redução na necessidade de expansão do sistema.	Representação, possivelmente, mais otimista nos processos de planejamento da expansão, implicando em aumento do bloco hidráulico e redução do bloco térmico, na direção contrária ao histórico recente de crise hídrica.

5. Conclusões e recomendações

Frente aos resultados e análises expostos, o GTMET concluiu ser ainda prematura a decisão pela alteração do histórico oficial de vazões/ENAs. Os principais fatores que influenciaram nesta recomendação são:

1. Os estudos não permitem definir, inequivocamente, se as tendências de acréscimo e de redução das vazões/ENAs representam uma mudança estrutural no sistema ou se são parte um ciclo de longa duração. Ainda assim, sabendo-se que houve mudanças importantes na hidrologia dos últimos anos, serão necessárias análises aprofundadas sobre a relação dessas anomalias com a ocorrência ou não de ciclos dos índices climáticos;
2. As metodologias empregadas para auxílio na tomada de decisão com base nesta incerteza direcionam para não se alterar o histórico oficial, dadas as diferenças nos custos de operação para os cenários simulados;
3. Os cenários simulados consideram a redução das séries, iniciadas em anos nos quais se identificaram padrões relacionados às análises estatísticas e/ou aos ciclos de índices climáticos. No entanto, limitações do modelo NEWAVE não permitiram a alteração do histórico para períodos específicos (janelas da série histórica, sem abranger, necessariamente, os anos mais recentes) e distintos por REE; e
4. A geração de cenários e as soluções de otimização do modelo NEWAVE implicam no aumento da geração hidráulica quando o histórico é reduzido, dada a maior disponibilidade de ENA em determinadas bacias hidrográficas.

No entanto, na prática, a sistemática ocorrência de vazões reduzidas nos últimos anos nas bacias que possuem os principais reservatórios (Grande, Paranaíba, Tocantins e São Francisco) não permitiu o enchimento ou uma recuperação significativa de armazenamento. Apesar de se esperar que a redução do histórico permitiria atribuir pesos maiores ao histórico recente de crise hídrica, a geração de séries sintéticas não foi capaz de reproduzir condições crítica como se concebia inicialmente. Ademais, entende-se que o modelo deveria priorizar o armazenamento em determinadas situações críticas, inclusive a longo prazo.

Assim sendo, para o ciclo 2019/2020 listam-se as seguintes diretrizes, priorizando melhorias ao processo de geração de cenários:

1. Coordenar a instrução de projeto Estratégico de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) junto à ANEEL direcionado aos estudos sobre o clima e suas variabilidades características e as relações com o comportamento estacionário ou não das séries de vazões, a fim de possibilitar a previsibilidade de eventos contínuos de anomalias como os atualmente observados no SIN. Ao final deste P&D, o modelo NEWAVE poderá considerar estes índices climáticos, tal como desenvolvido pelo CEPEL para o modelo DECOMP (incorporação do El Niño no modelo GEVAZP, implementada na versão 7.2);
2. Avaliar se haveria mudanças na decisão sob incerteza a partir das metodologias empregadas (Mínimo Máximo Custo e Mínimo Máximo Arrependimento) incorporando o ano de 2019 nas análises, embasando a alternativa de revisão anual pelo GTMET dos estudos referentes à Representação Hidrológica;
3. Implementar funcionalidade de escolha do período a ser simulado por REE, com possibilidade de simulação de anos iniciais e finais quaisquer (na prática, o ideal é que o modelo leia este *input* e selecione a janela correspondente ao período inserido nos demais arquivos que consideram o histórico – i.e. arquivo *vazões.dat*);

4. Investigar os resultados do modelo NEWAVE que apresentam níveis altos dos reservatórios mesmo em cenários que consideram séries históricas com médias inferiores à atual e, portanto, tendências de decréscimo das afluições nos períodos mais recentes. Uma possibilidade levantada pelo grupo foi de atribuir pesos aos últimos anos, de maneira que a geração de séries sintéticas seja direcionada para o comportamento atualmente verificado; e
5. Análise dos cenários gerados pelo GEVAZP para cada REE, com propostas de melhoria nos processos de geração de cenários de curto/médio prazo. Ademais, analisam-se as seguintes linhas de desenvolvimento: (i) desacoplar o GEVAZP do modelo NEWAVE, permitindo o emprego de outros modelos de geração de cenários; e (ii) estudar os benefícios de se aumentar o horizonte temporal de uso do modelo DECOMP.

A consideração das diretrizes acima listadas deverá auxiliar a CPAMP na definição do seu cronograma de trabalho para o ciclo 2019/2020.

6. Referências

- (1) ALVES, José Maria Brabo. Recentes variações climáticas no Nordeste do Brasil com ênfase a precipitação: relações com o ENOS, dipolo de temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical e a oscilação decadal do Pacífico. *Revista de Geografia*, v. 29, n. 3, 2012.
- (2) AZAMBUJA, R. R. Estudo da atividade de relâmpagos na Região Sul do Brasil a partir de dados de sistema de detecção. 2017. INPE- 03.04.13.22-TDI). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2017.
- (3) CARVALHO, Leila MV; JONES, Charles; LIEBMANN, Brant. Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone. *Journal of Climate*, v. 15, n. 17, p. 2377-2394, 2002.
- (4) CAVALCANTI, Iracema FA. Tempo e clima no Brasil. Oficina de textos, 2016.

- (5) DA SILVA, Gyrlene Aparecida Mendes; DRUMOND, Anita; AMBRIZZI, Tércio. The impact of El Niño on South American summer climate during different phases of the Pacific Decadal Oscillation. *Theoretical and applied climatology*, v. 106, n. 3-4, p. 307-319, 2011.
- (6) FORTE LAY, J. A.; AIELLO, J. L. Relaciones entre el MEI (multivariate ENSO index) y las precipitaciones en la Argentina continental. In: IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. VIII Congreso Argentino de Meteorología. 2001.
- (7) GRIMM, Alice M.; BARROS, Vicente R.; DOYLE, Moira E. Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of climate*, v. 13, n. 1, p. 35-58, 2000.
- (8) KOUSKY, Vernon E.; CHUG, Pao Shin. Fluctuations in Annual Rainfall for Northeast Brazil. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, v. 56, n. 5, p. 457-465, 1978.
- (9) MARENGO, José A. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *International Journal of Climatology*, v. 12, n. 8, p. 853-863, 1992.
- (10) MARENGO, José A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and applied climatology*, v. 78, n. 1-3, p. 79-96, 2004.
- (11) MARENGO, Jose A.; VALVERDE, Maria C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. *Revista Multiciência*, v. 8, p. 5-28, 2007.
- (12) MOLION, L. C. B.; MORAES, J. Oscilação Sul e descarga de rios na America do Sul Tropical. *Rev. Bras. Eng., Caderno de Hidrologia*, v. 5, n. 1, p. 53-63, 1987.
- (13) PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. *Climate Dynamics*, v. 17, n. 2-3, p. 205-212, 2001.
- (14) UVO, C. R. B.; NOBRE, C. A. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. Parte I: a posição da ZCIT no Atlântico equatorial. *Climanálise*, v. 4, n. 07, p. 34-40, 1989.

- (15) RASMUSSEN, Kristen L.; ZULUAGA, Manuel D.; HOUZE JR, Robert A. Severe convection and lightning in subtropical South America. *Geophysical Research Letters*, v. 41, n. 20, p. 7359-7366, 2014.
- (16) REBOITA, Michelle Simões et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 2, 2010.
- (17) REBOITA, Michelle Simões et al. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. 2012.
- (18) ROBINSON, Peter John; HENDERSON-SELLERS, Ann. *Contemporary climatology*. Routledge, 2014.
- (19) ROOM, Map; PORTAL, Climate Change Web. Multivariate ENSO index (Mei). 2000.
- (20) TEDESCHI, R. G.; GRIMM, A. M. Variações significativas de eventos extremos de precipitação e de vazão durante episódios de El Niño e La Niña. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (CBMET). 2008.
- (21) TUCCI, Carlos EM et al. *Hidrologia: ciência e aplicação*. São Paulo: Editora da, 2012.
- (22) ANA – Agência Nacional de Águas. Nota Técnica nº041/2014/SPR/ANA
- (23) ANA – Agência Nacional de Águas. Nota Técnica nº006/2013/SPR/ANA. Análise de estacionariedade de séries hidrológicas na bacia do rio São Francisco e usos consuntivos a montante da UHE Sobradinho
- (24) Guilderson, T. P; Schrag D. P. Abrupt shift in subsurface temperatures in the Tropical Pacific associated with changes in El Niño. 1998
- (25) Ray, S; Giese, B. S. Historical changes in El Niño and La Niña characteristics in an ocean reanalysis. 2012

7. Anexos

Anexo A: Séries históricas por REE

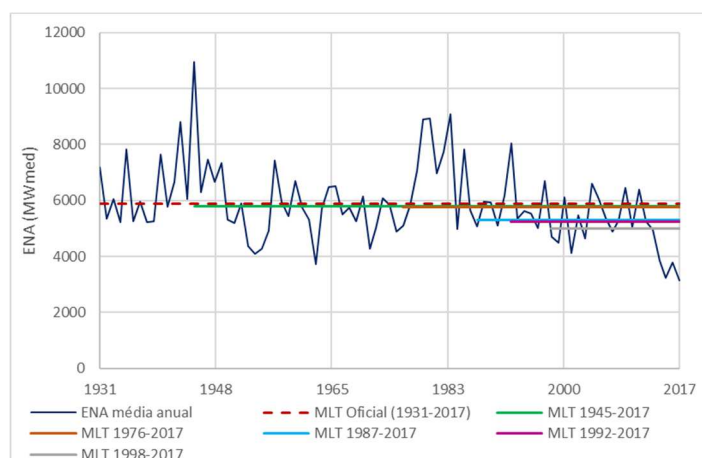


Figura A.I – Série histórica de ENA no REE Sudeste e alteração na MLT oficial caso houvessem cortes no histórico.

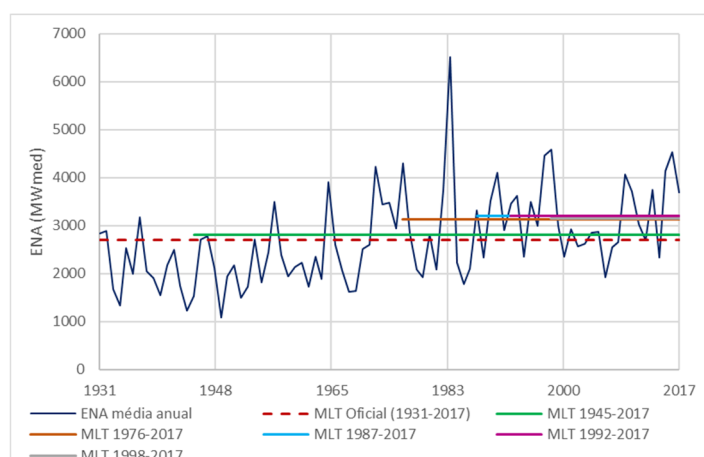


Figura A.II – Série histórica de ENA no REE Paranapanema e alteração na MLT oficial caso houvessem cortes no histórico.

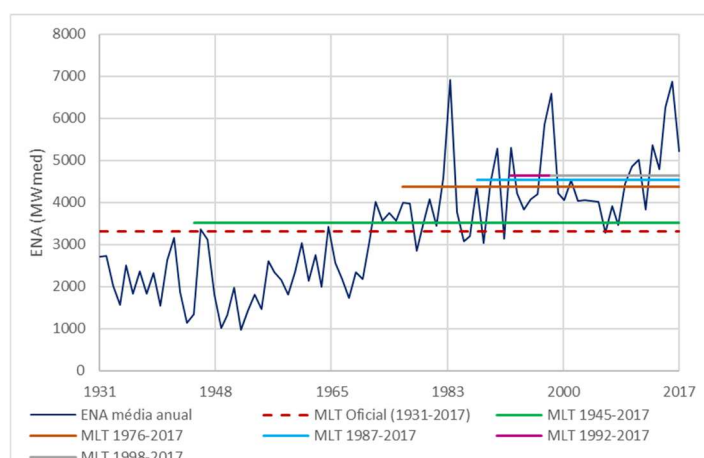


Figura A.III – Série histórica de ENA no REE Itaipu e alteração na MLT oficial caso houvessem cortes no histórico.

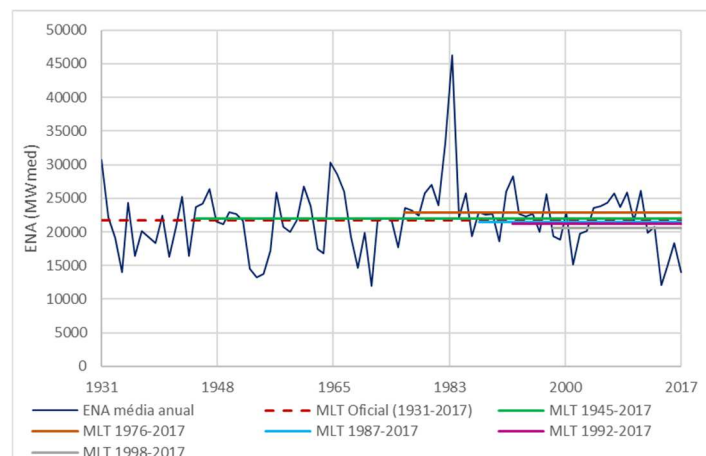


Figura A.IV – Série histórica de ENA no REE Paraná e alteração na MLT oficial caso houvessem cortes no histórico.

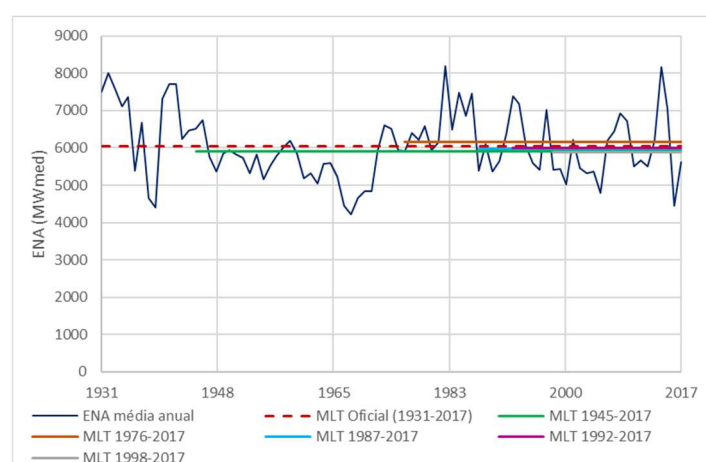


Figura A.V – Série histórica de ENA no REE Madeira e alteração na MLT oficial caso houvessem cortes no histórico.

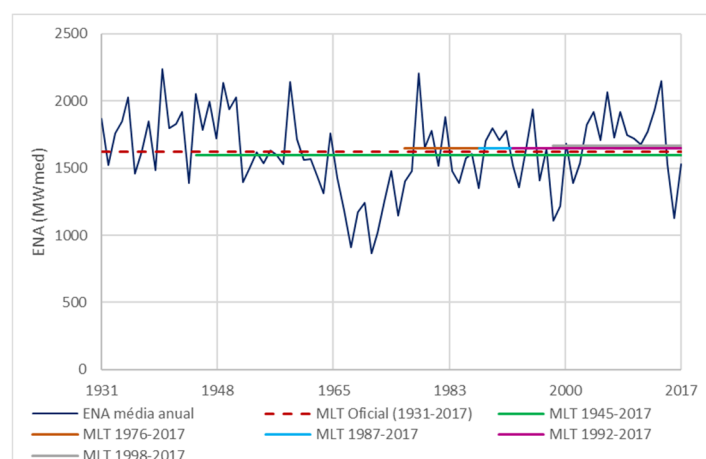


Figura A.VI – Série histórica de ENA no REE Teles Pires e alteração na MLT oficial caso houvessem cortes no histórico.

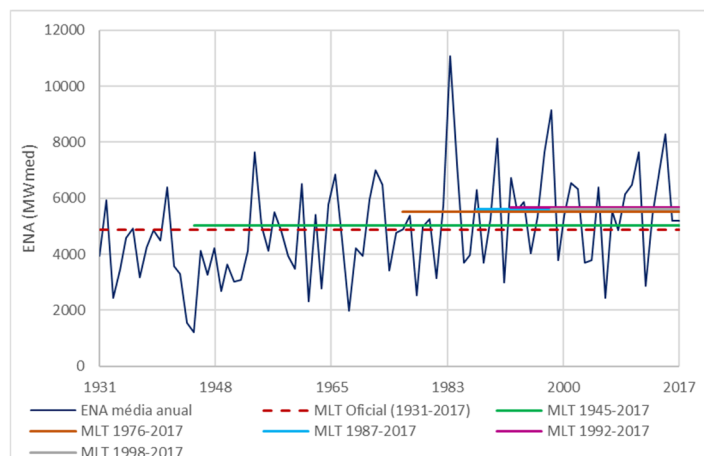


Figura A.VII – Série histórica de ENA no REE Sul e alteração na MLT oficial caso houvessem cortes no histórico.

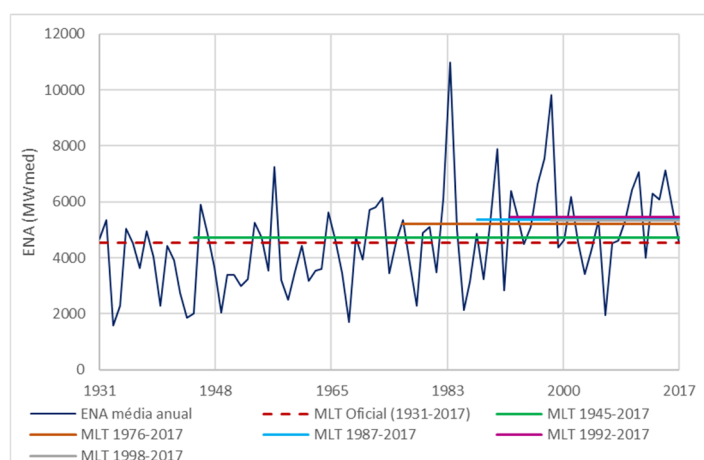


Figura A.VIII – Série histórica de ENA no REE Iguaçu e alteração na MLT oficial caso houvessem cortes no histórico.

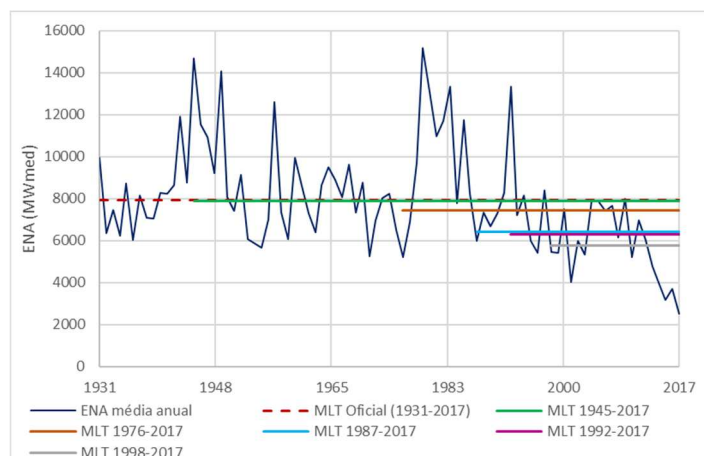


Figura A.IX – Série histórica de ENA no REE Nordeste e alteração na MLT oficial caso houvessem cortes no histórico.

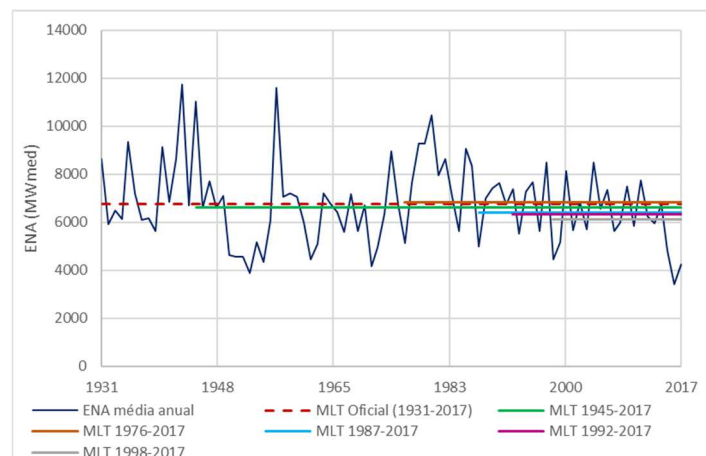


Figura A.X – Série histórica de ENA no REE Norte e alteração na MLT oficial caso houvessem cortes no histórico.

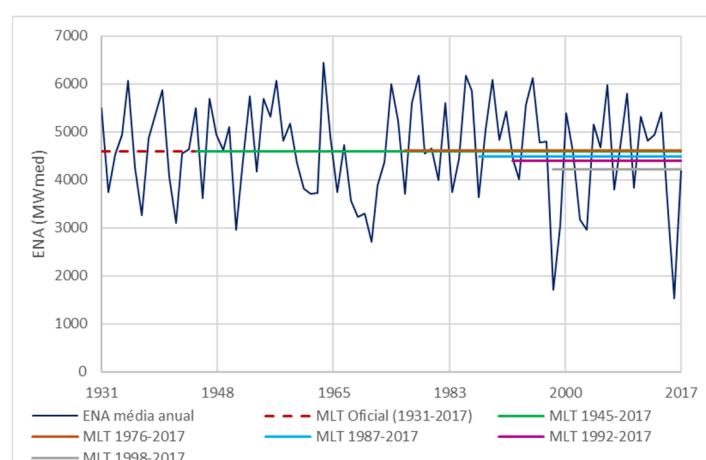


Figura A.XI – Série histórica de ENA no REE Belo Monte e alteração na MLT oficial caso houvessem cortes no histórico.

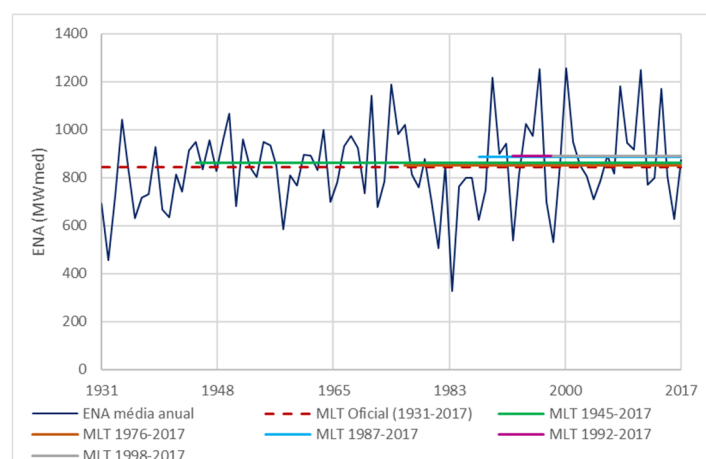
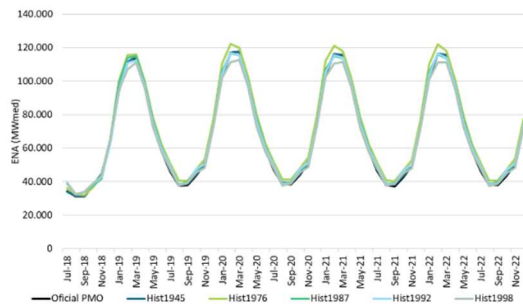


Figura A.XII – Série histórica de ENA no REE Manaus-Amapá e alteração na MLT oficial caso houvessem cortes no histórico.

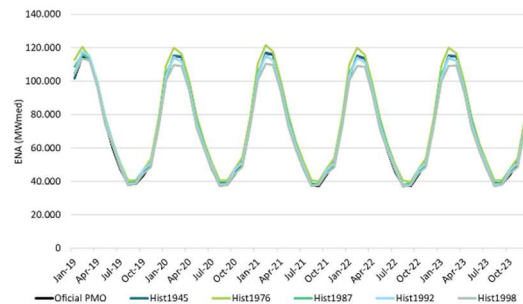
Anexo B: Resultados das simulações no modelo NEWAVE

- Energia Natural Afluente

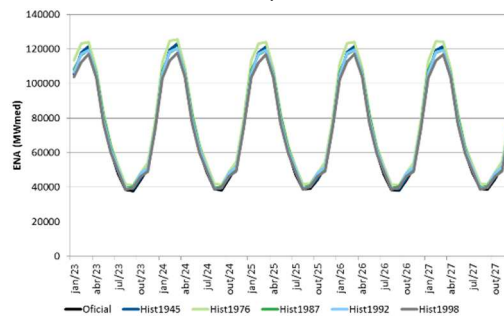
Julho/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

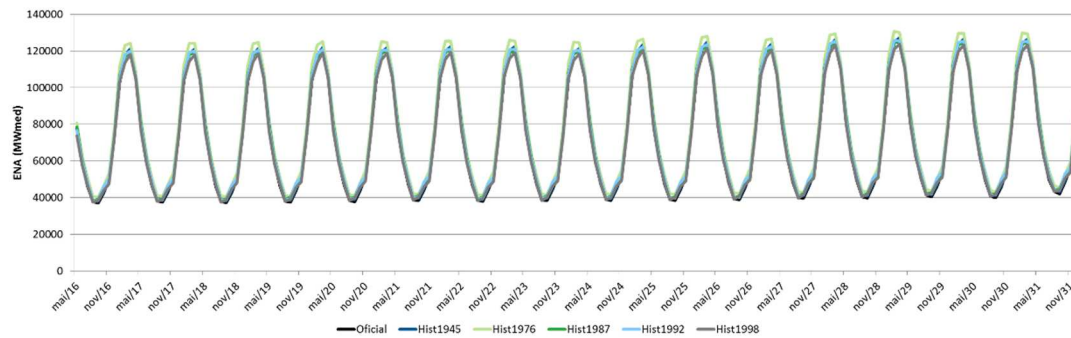
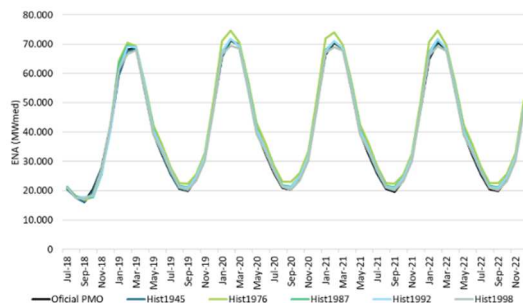
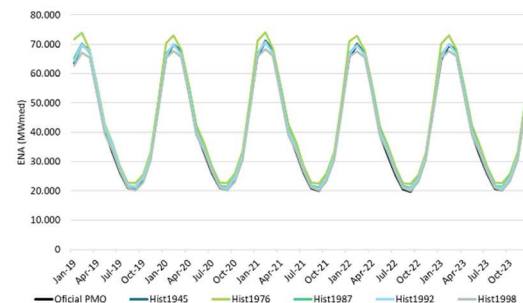


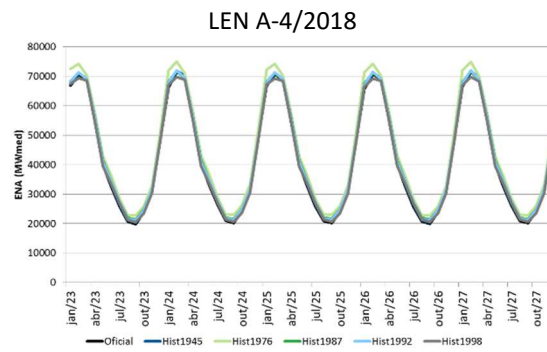
Figura B.I – Evolução da ENA média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o SIN.

Julho/2018



Janeiro/2019





PDE 2026

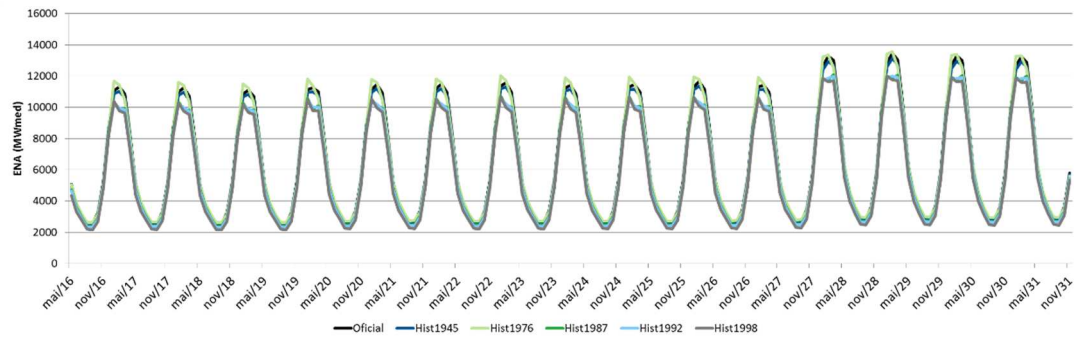
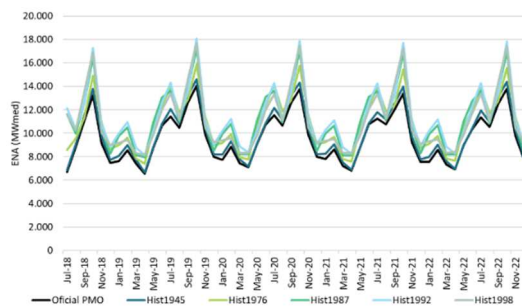
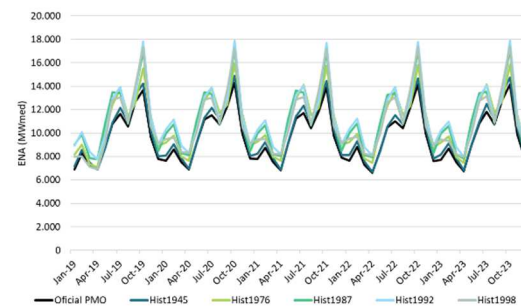


Figura B.II – Evolução da ENA média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Sudeste.

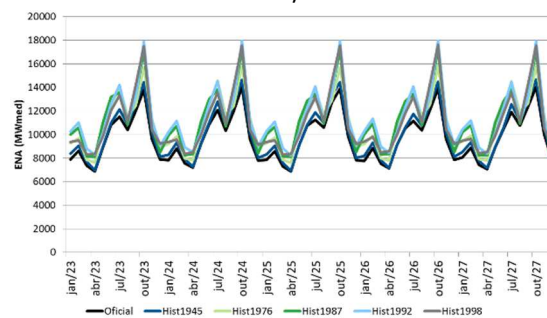
Julho/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

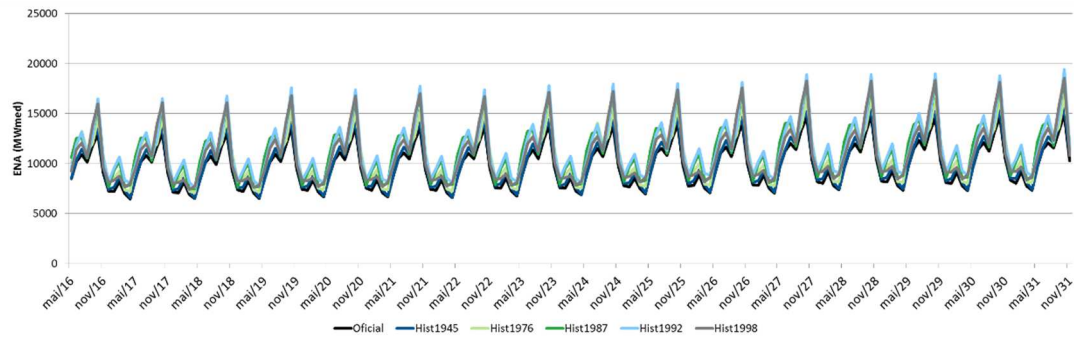
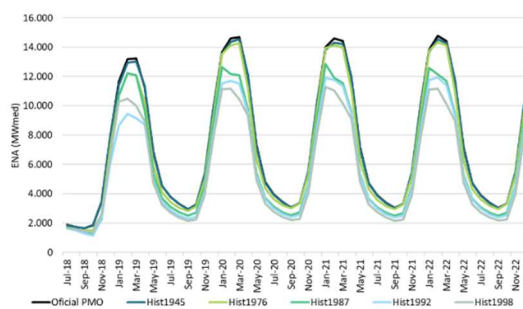
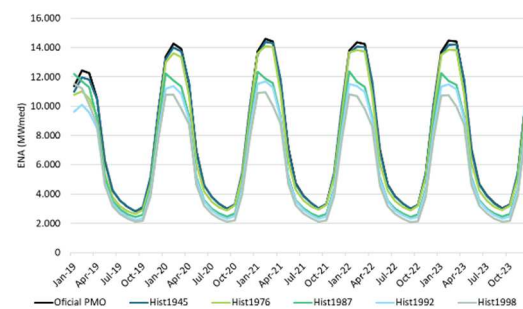


Figura B.III – Evolução da ENA média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Sul.

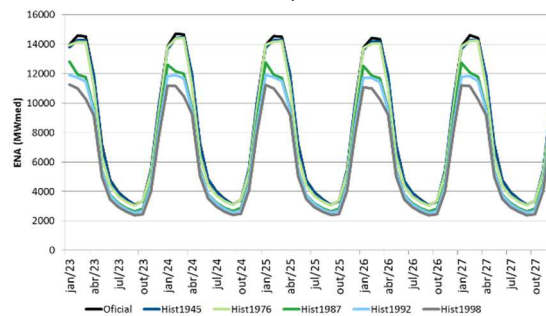
Julho/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

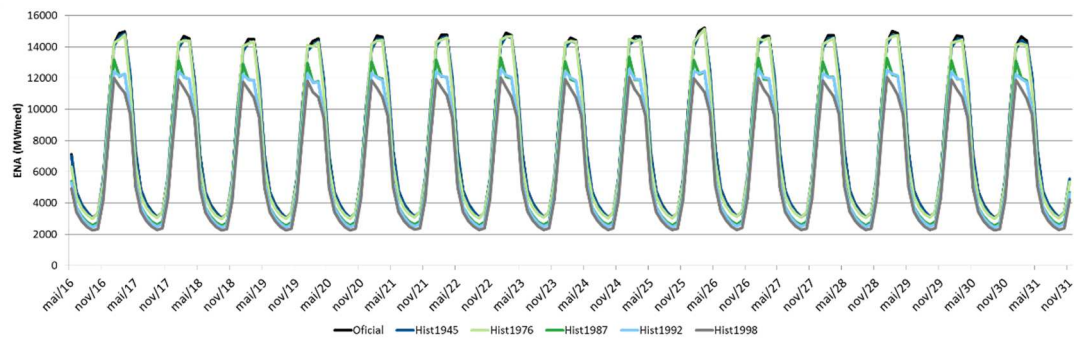
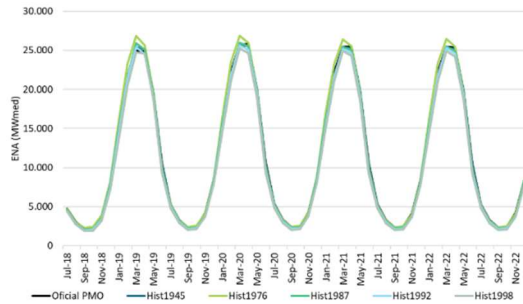
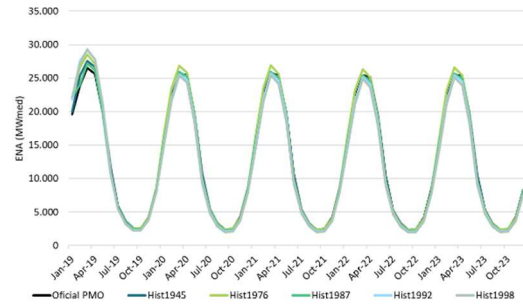


Figura B.IV – Evolução da ENA média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Nordeste.

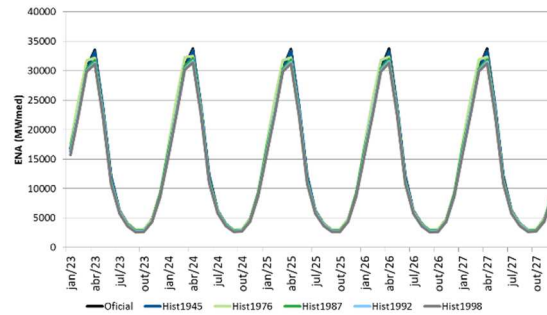
Julho/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

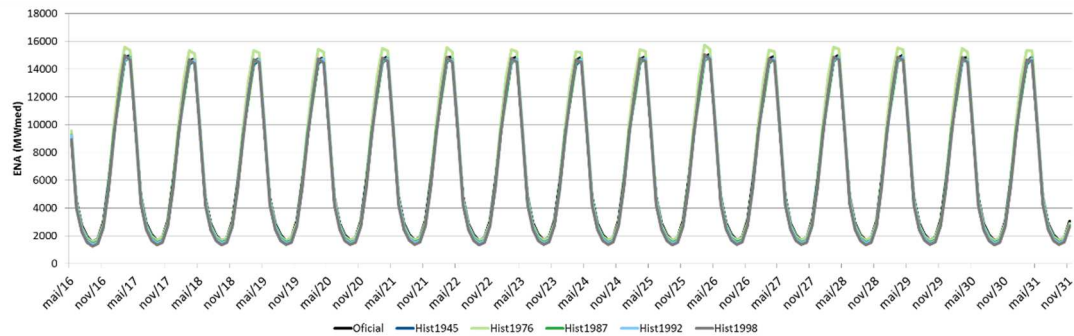
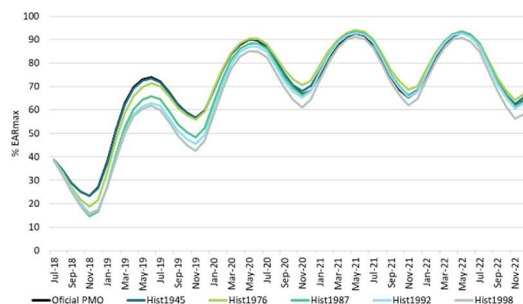


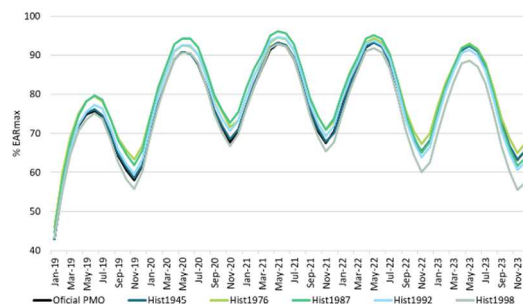
Figura B.V – Evolução da ENA média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Norte.

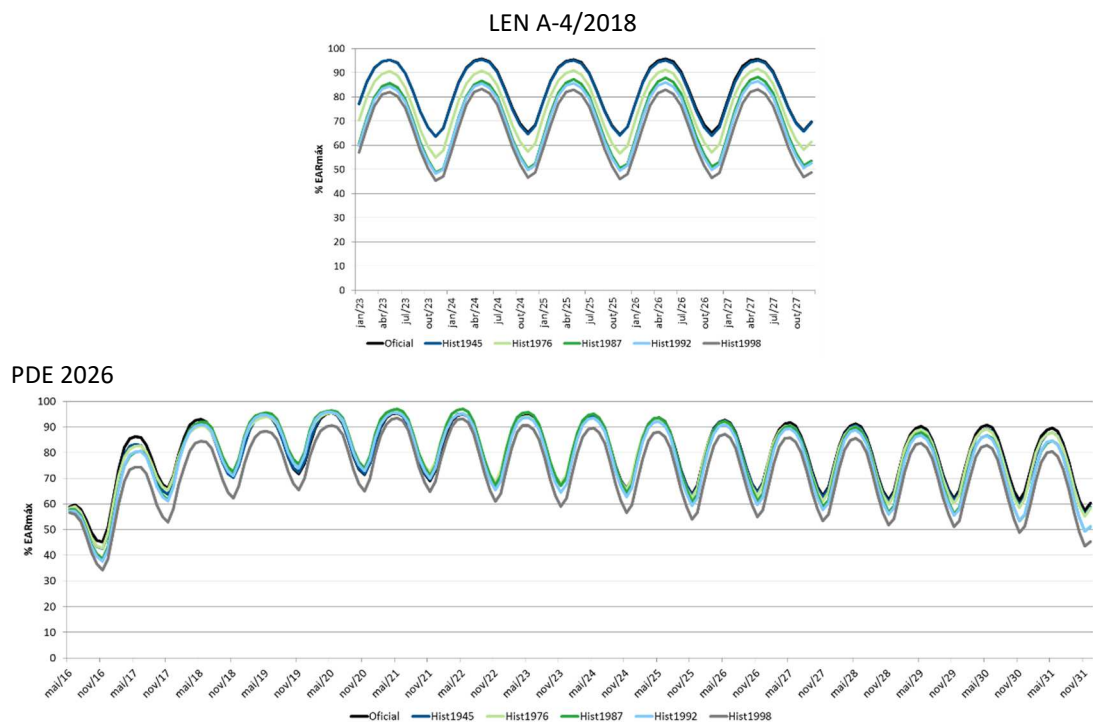
- Energia armazenada

Julho/2018

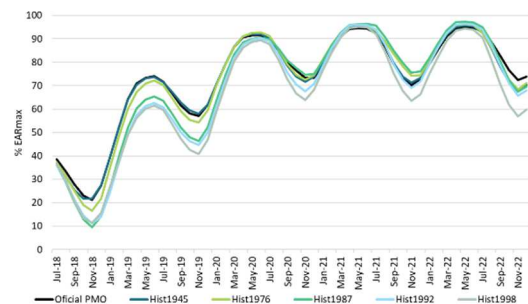


Janeiro/2019

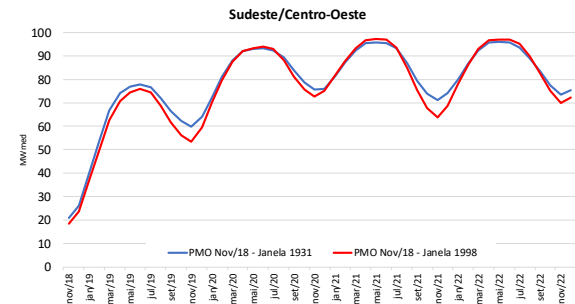




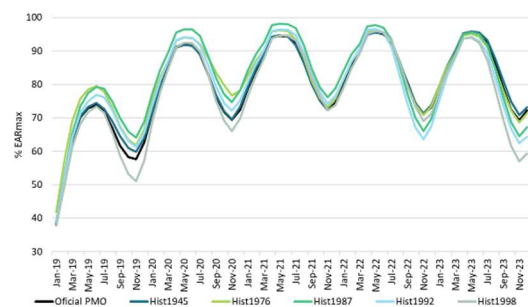
Julho/2018



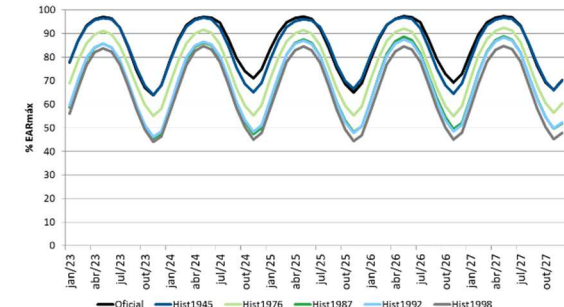
Novembro/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

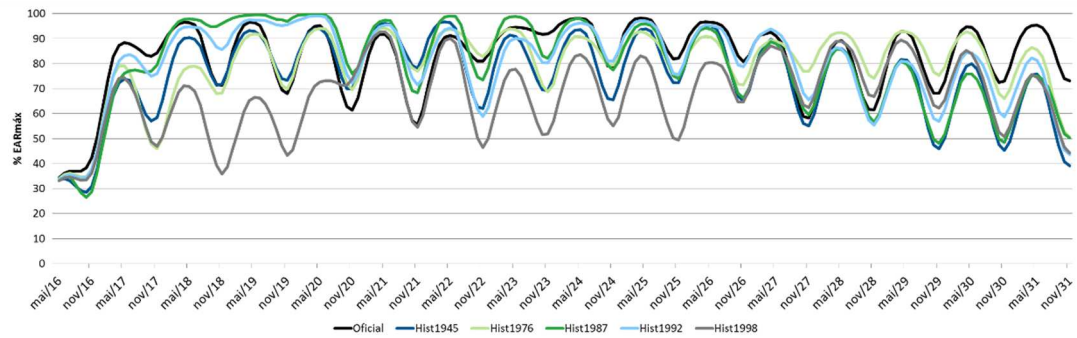
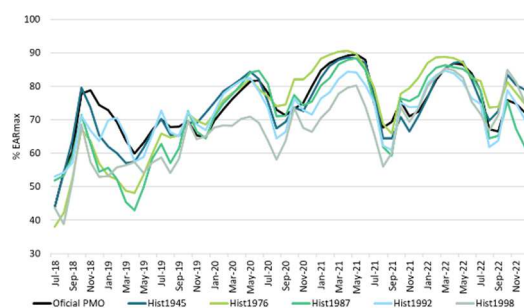
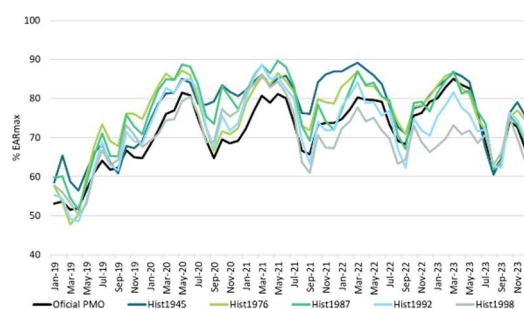


Figura B.VII – Evolução da energia armazenada média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Sudeste.

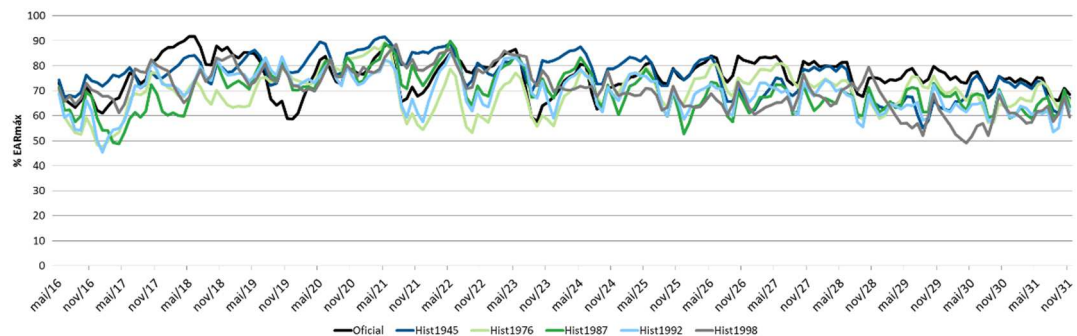
Julho/2018



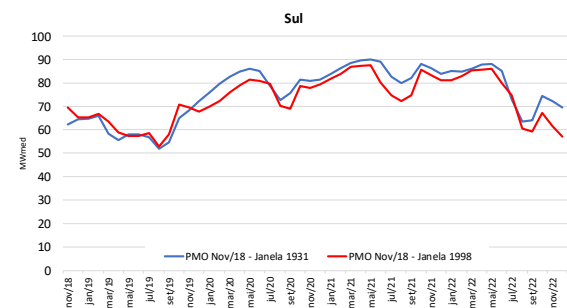
Janeiro/2019



PDE 2026



Novembro/2018



LEN A-4/2018

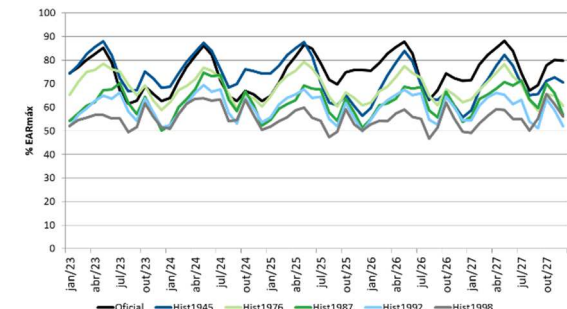
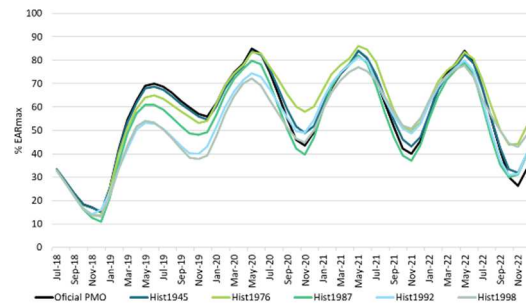
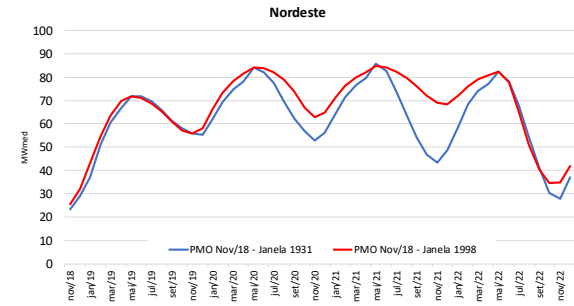


Figura B.VIII – Evolução da energia armazenada média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Sul.

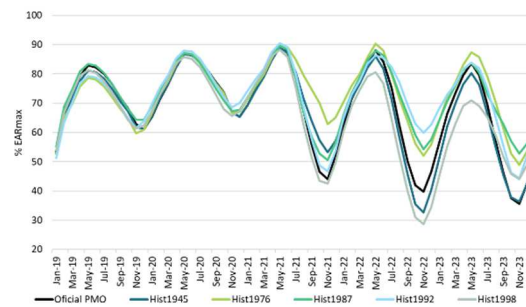
Julho/2018



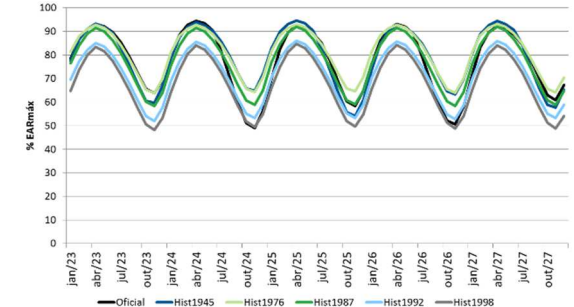
Novembro/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

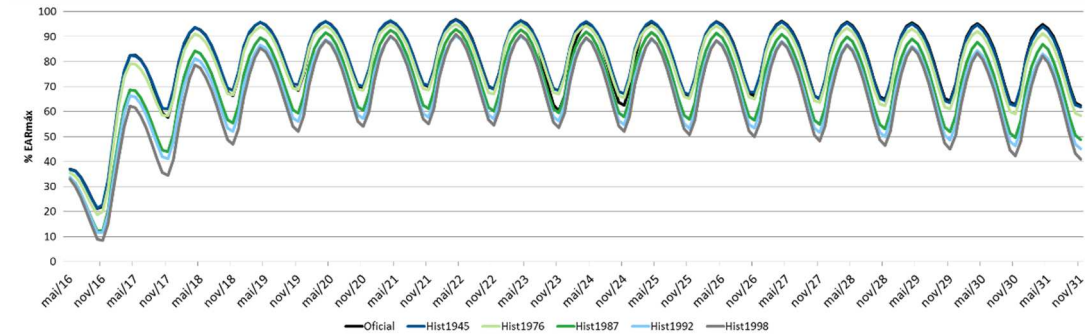
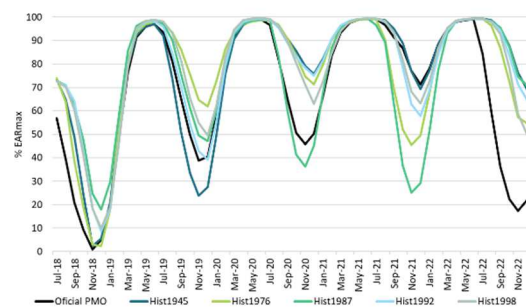
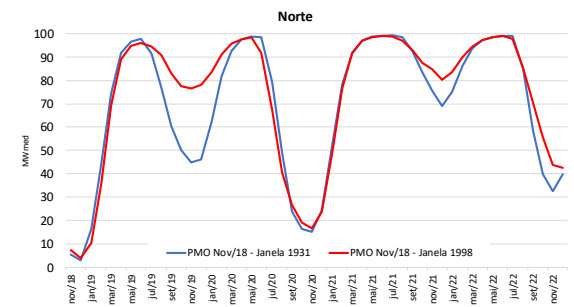


Figura B.IX – Evolução da energia armazenada média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Nordeste.

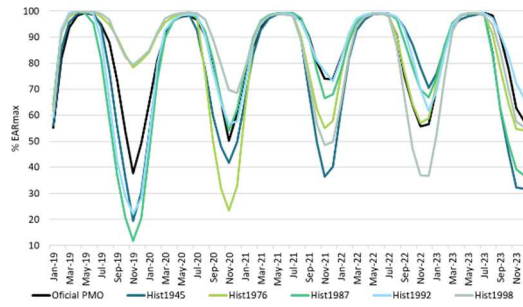
Julho/2018



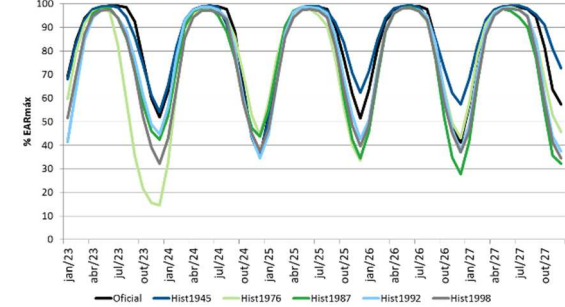
Novembro/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

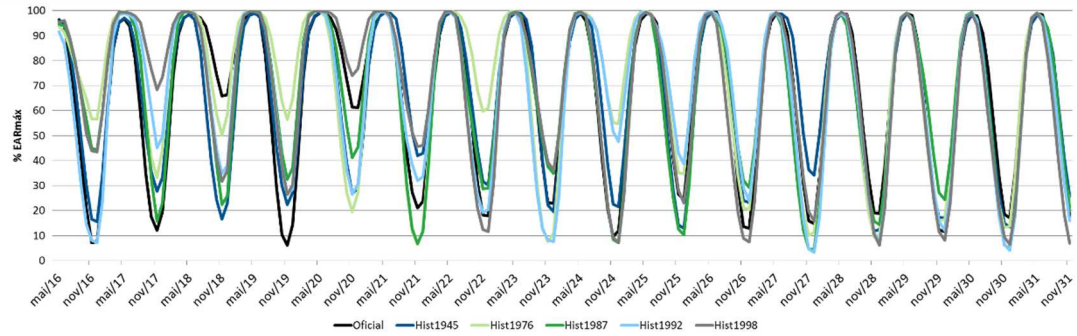
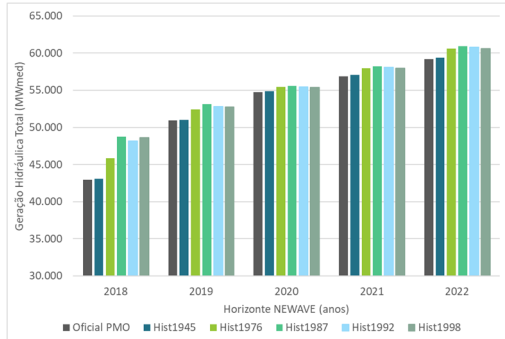


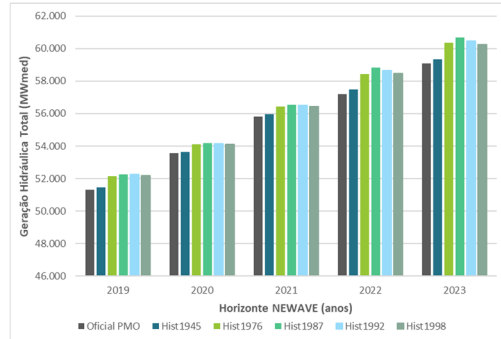
Figura B.X – Evolução da energia armazenada média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Norte.

- Geração hidráulica

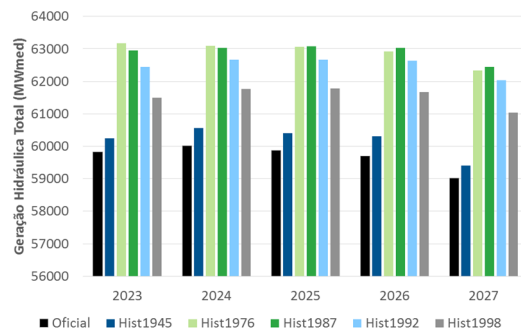
Julho/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

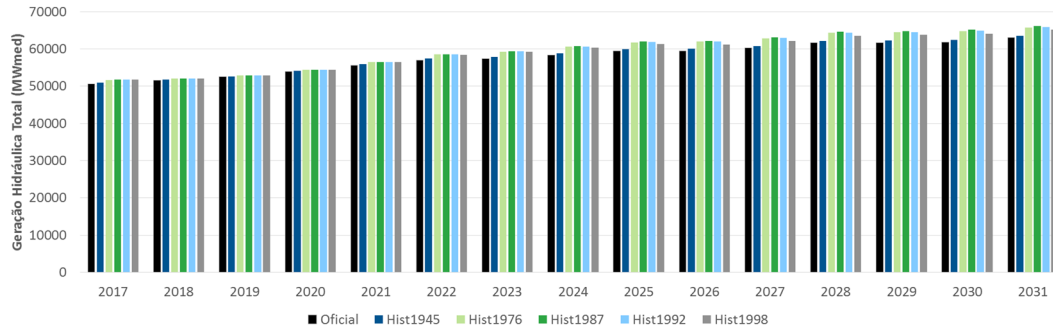
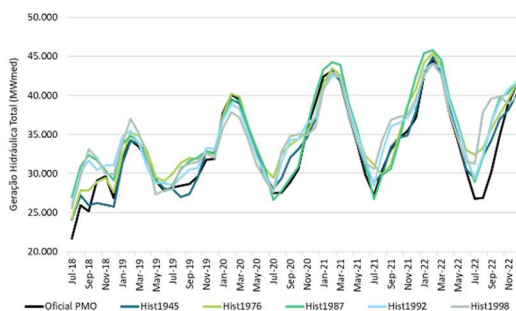
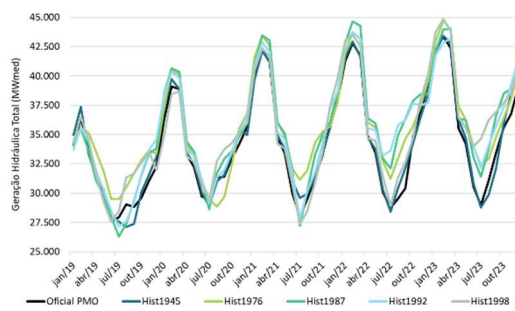


Figura B.XI – Evolução da geração hidráulica média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o SIN.

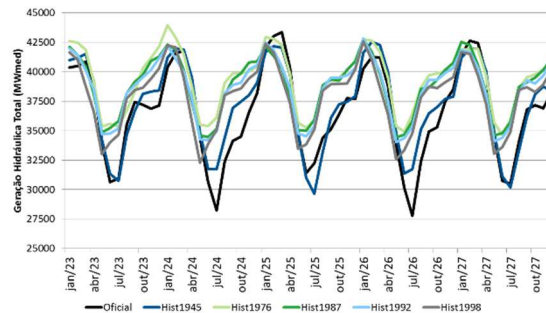
Julho/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

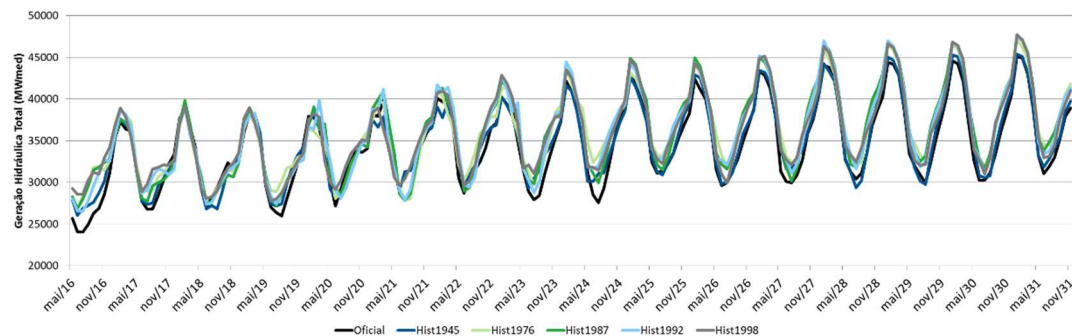
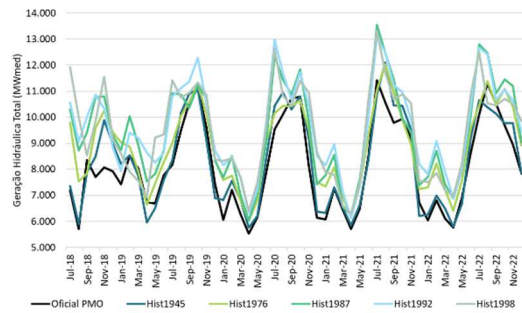
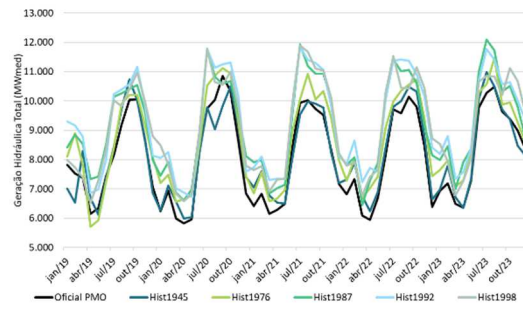


Figura B.XII – Evolução da geração hidráulica média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Sudeste.

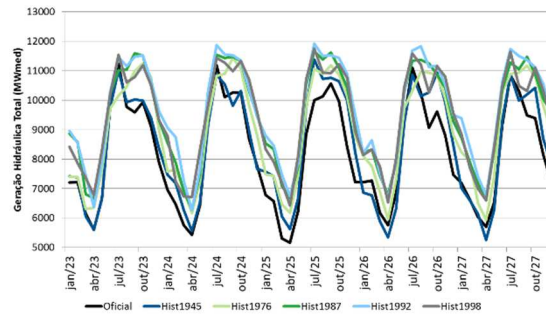
Julho/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

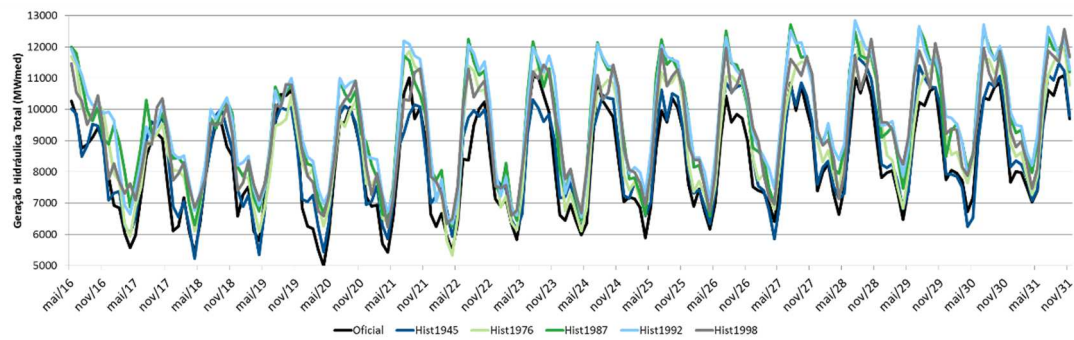
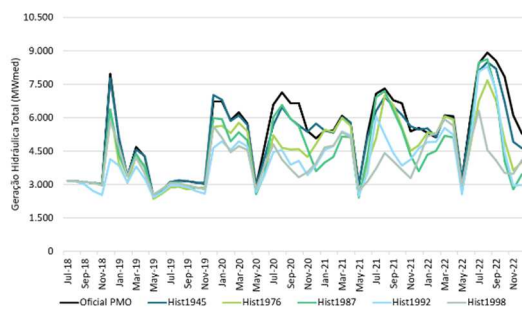
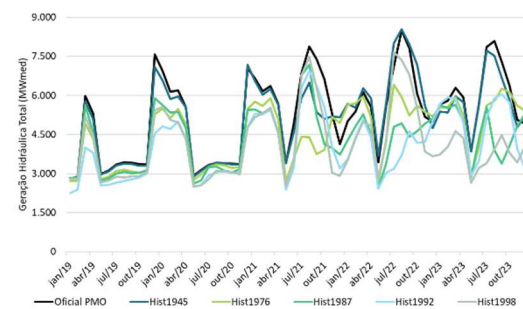


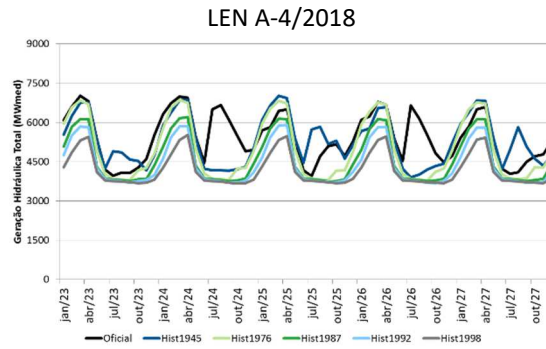
Figura B.XIII – Evolução da geração hidráulica das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Sul.

Julho/2018



Janeiro/2019





PDE 2026

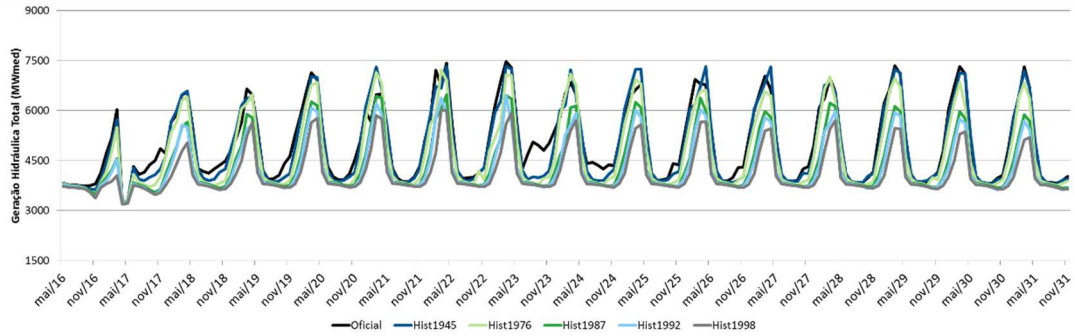
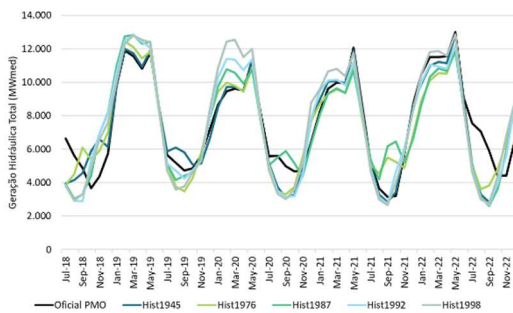
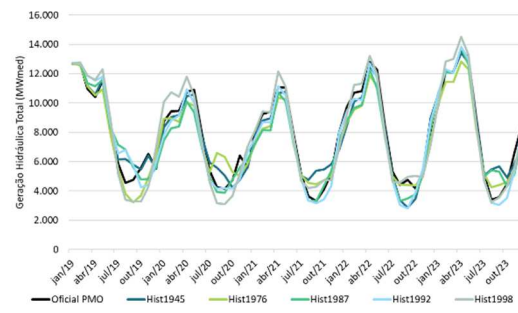


Figura B.XIV – Evolução da geração hidráulica média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Nordeste.

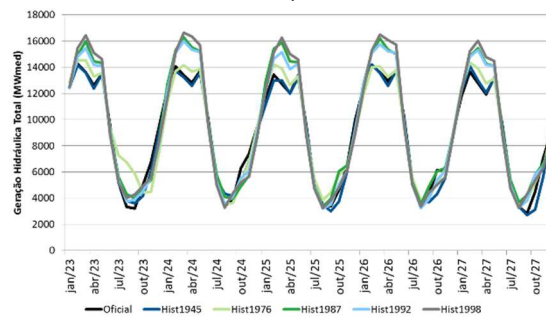
Julho/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

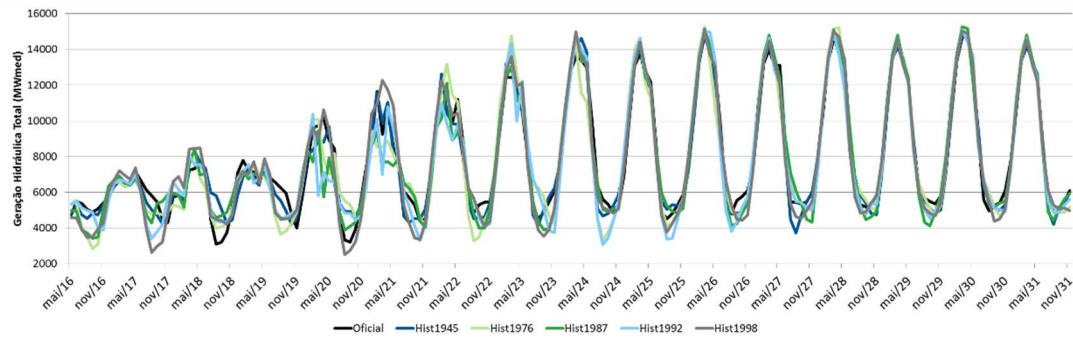
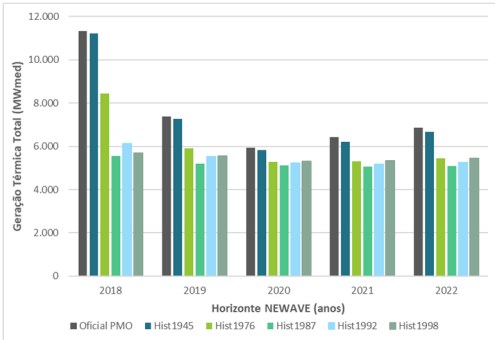


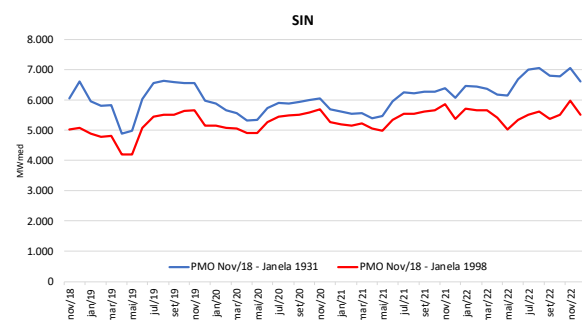
Figura B.XV – Evolução da geração hidráulica média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Norte.

- Geração térmica

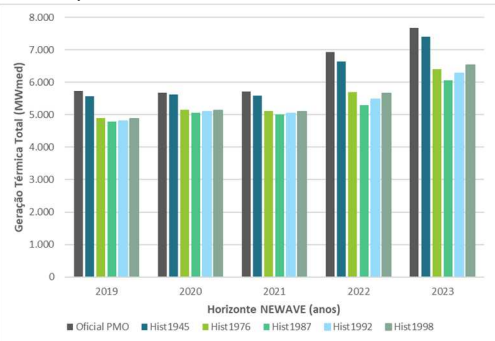
Julho/2018



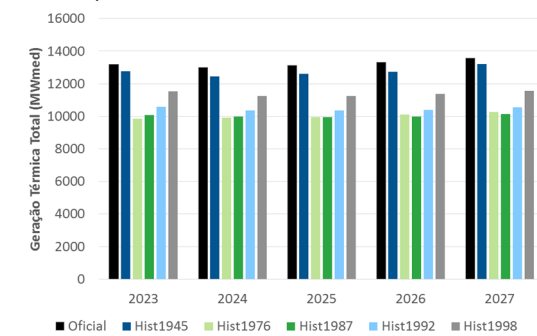
Novembro/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

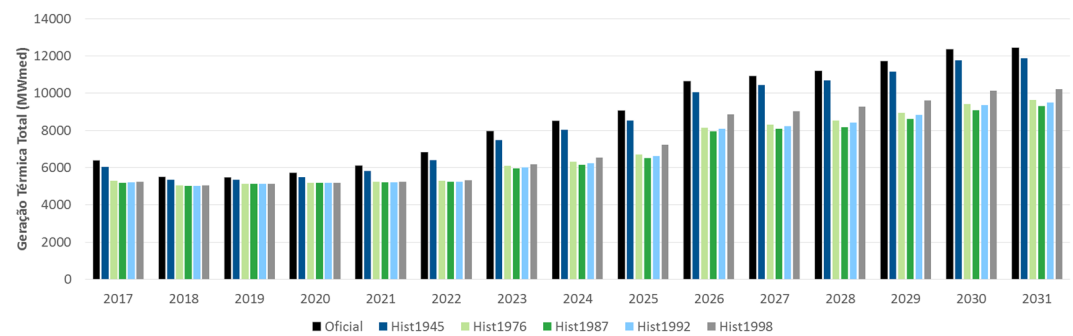
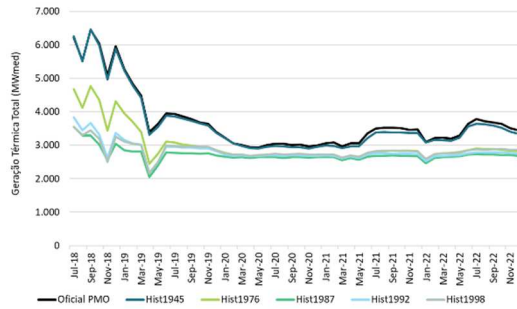
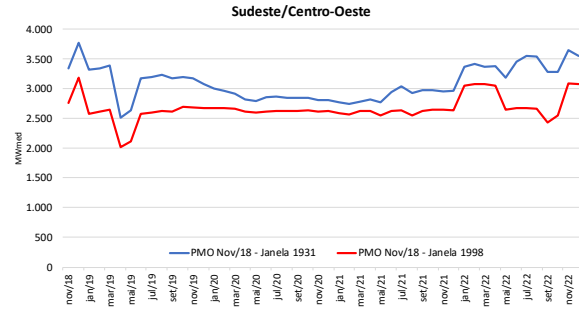


Figura B.XVI – Evolução da geração térmica média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o SIN.

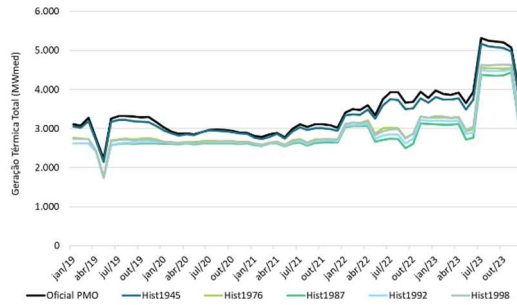
Julho/2018



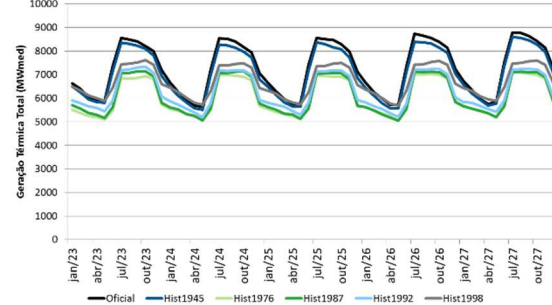
Novembro/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

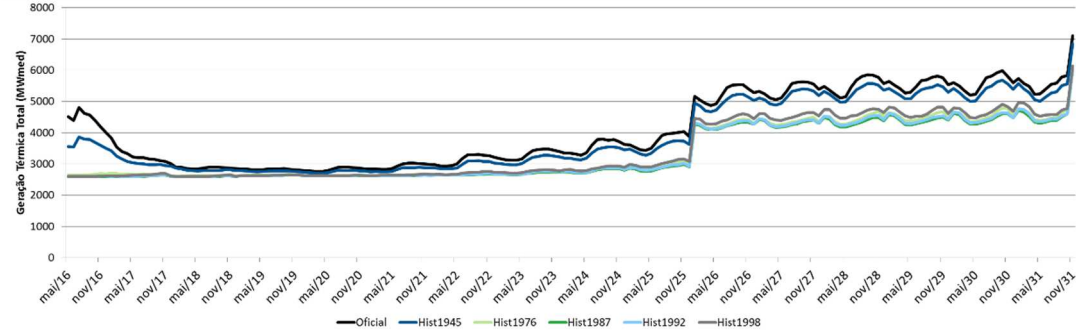
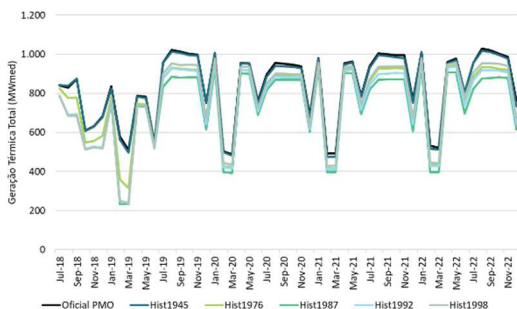
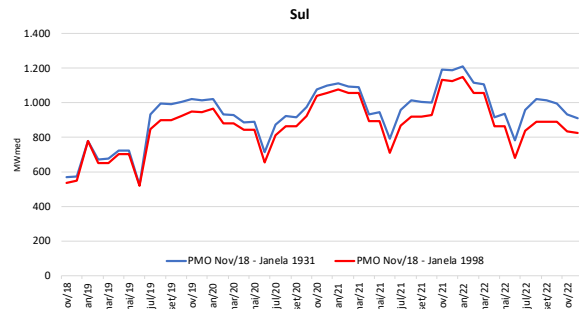


Figura B.XVII – Evolução da geração térmica média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Sudeste.

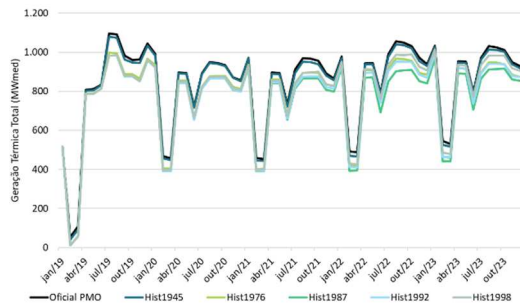
Julho/2018



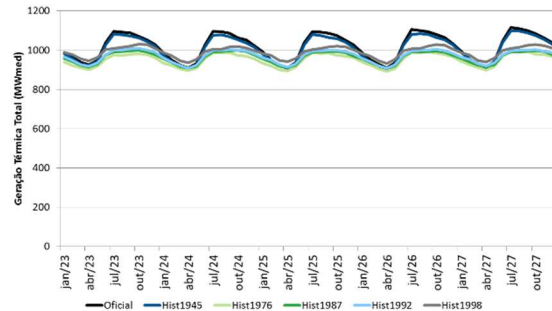
Novembro/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

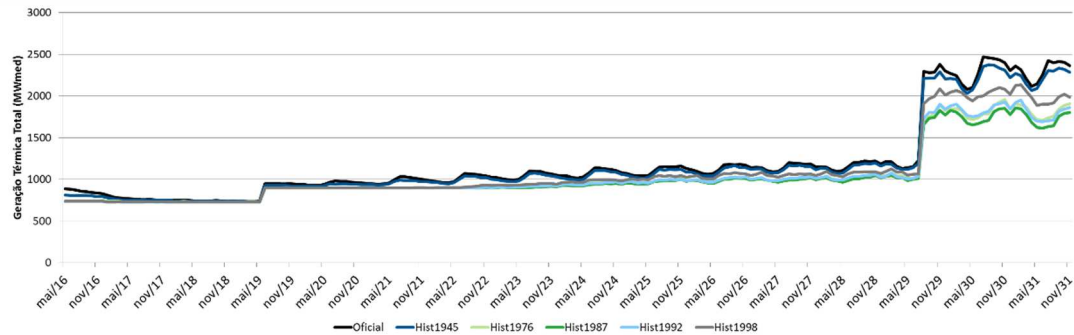
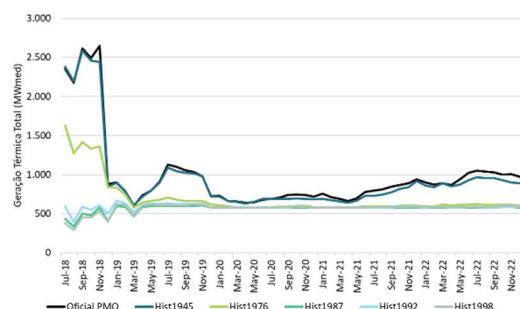
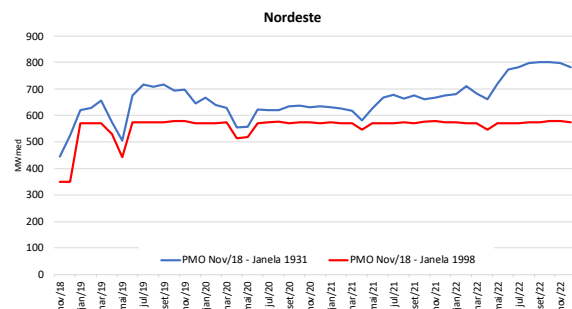


Figura B.XVIII – Evolução da geração térmica das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Sul.

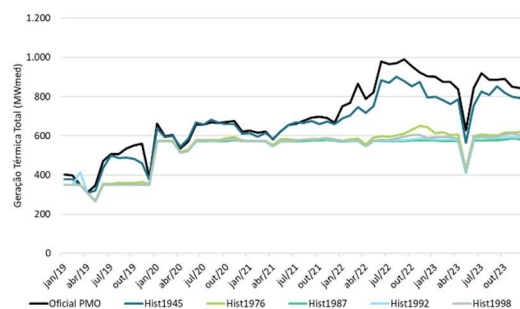
Julho/2018



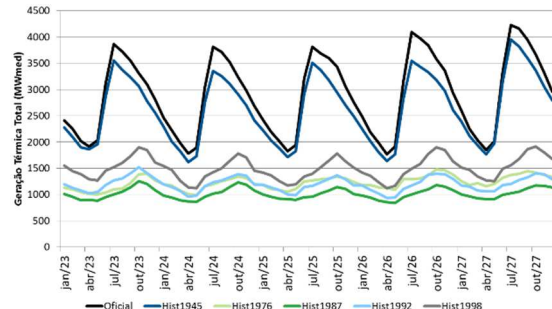
Novembro/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

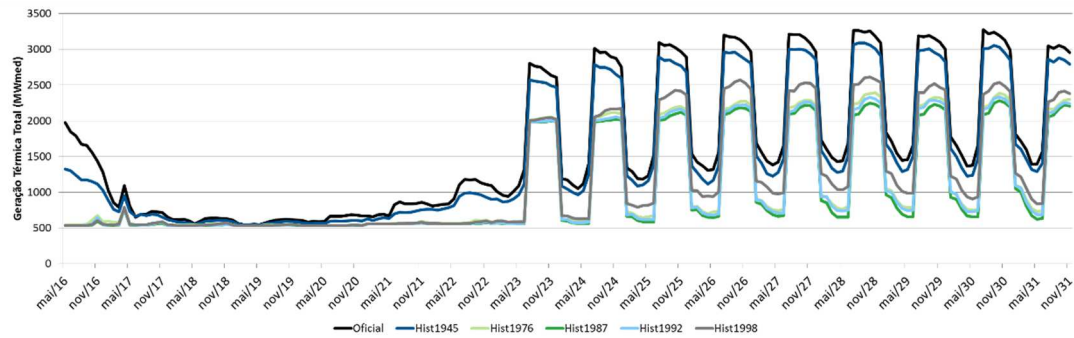
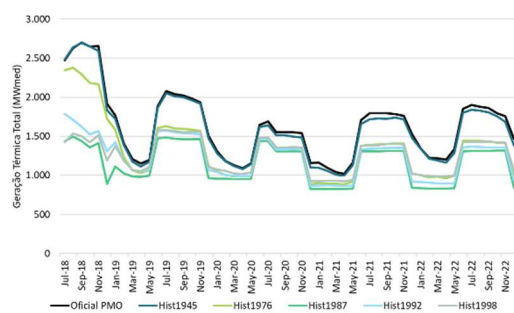
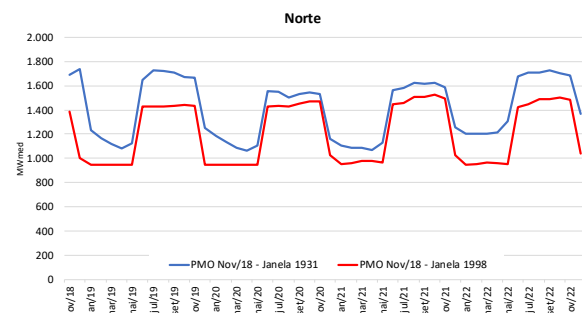


Figura B.XIX – Evolução da geração térmica média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Nordeste.

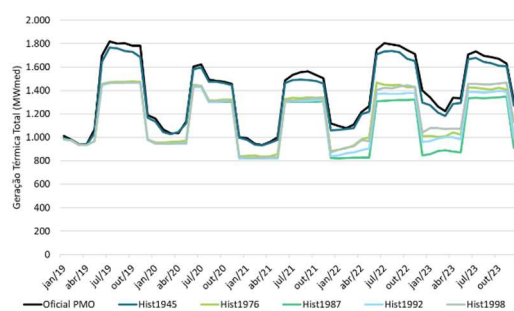
Julho/2018



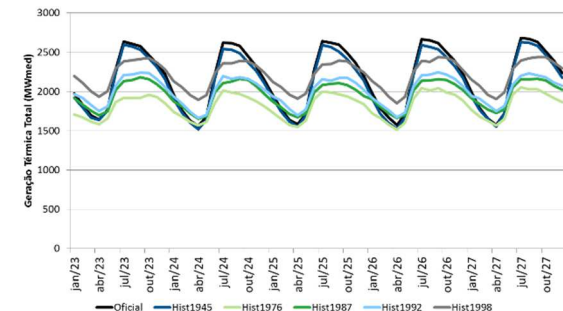
Novembro/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

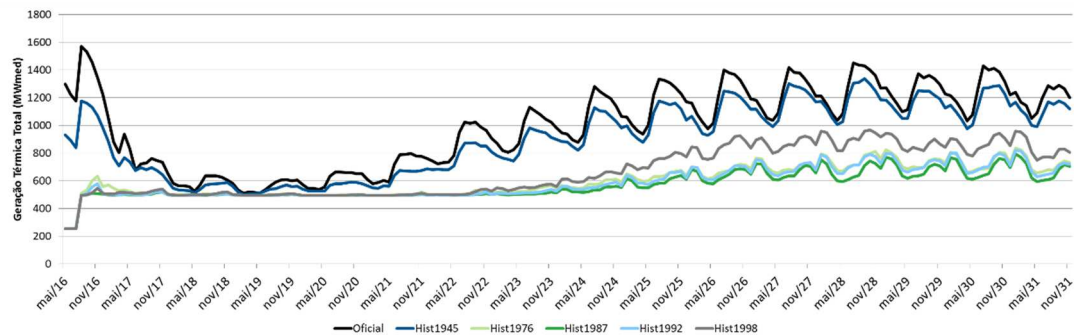
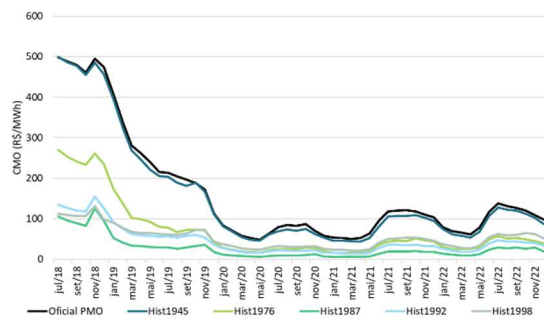


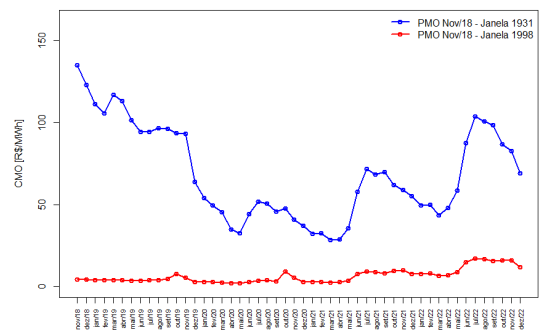
Figura B.XX – Evolução da geração térmica média das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Norte.

- CMO/PLD

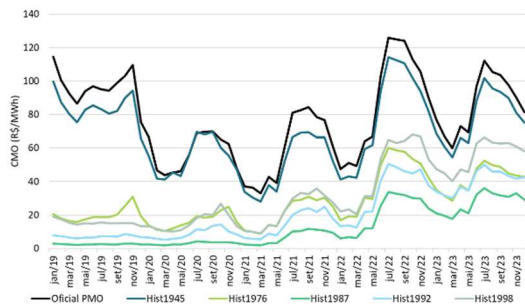
Julho/2018



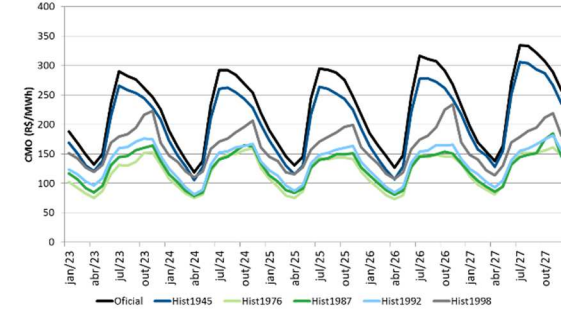
Novembro/2018



Janeiro/2019



LEN A-4/2018



PDE 2026

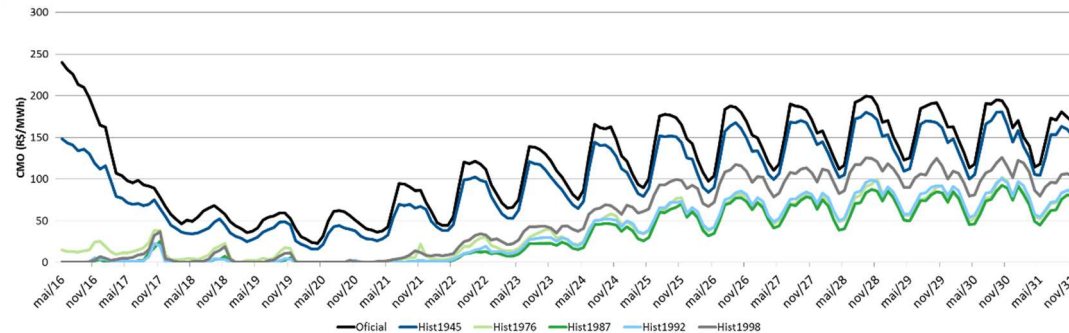


Figura B.XXI – Evolução do CMO médio das 2000 séries geradas no NEWAVE para o submercado Sudeste.

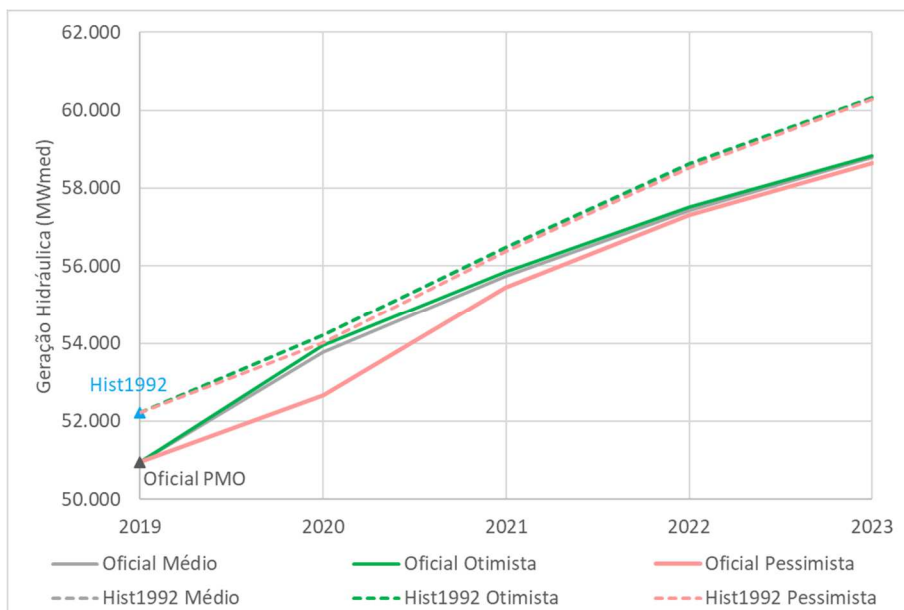


Figura B.XXII – Evolução da geração hidráulica média das 2000 séries geradas para o SIN no modelo NEWAVE: encadeamento anual considerando o histórico oficial e a redução com início em 1992.

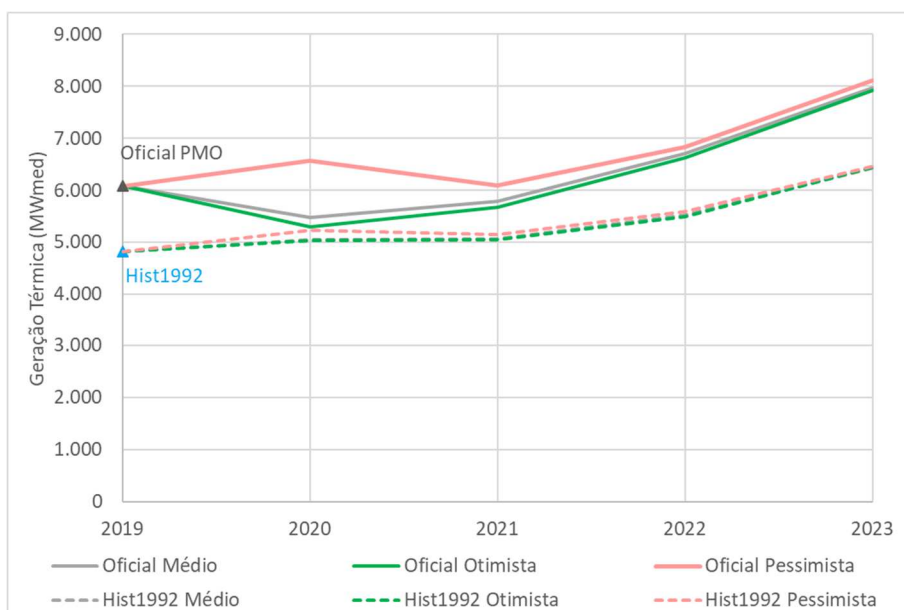


Figura B.XXIII – Evolução da geração térmica média das 2000 séries geradas para o SIN no modelo NEWAVE: encadeamento anual considerando o histórico oficial e a redução com início em 1992.

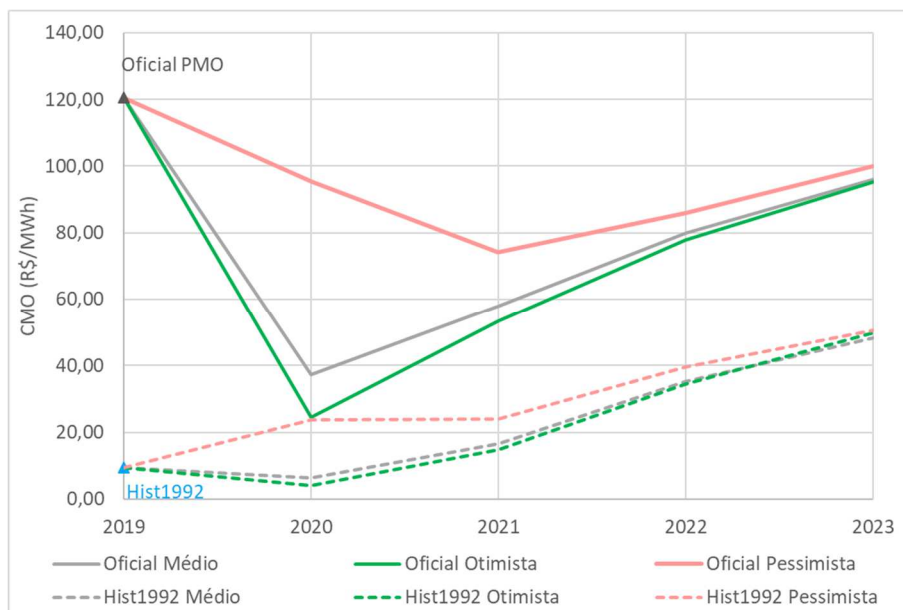


Figura B.XXIV – Evolução do CMO médio das 2000 séries geradas para o Sudeste/Centro-Oeste no modelo NEWAVE: encadeamento anual considerando o histórico oficial e a redução com início em 1992.

Anexo C: Matrizes de decisão sob incerteza

Tabela C.I – Matrizes representativas da decisão sob incerteza para o caso do PMO de Julho/2018 – Custo Total de Operação (bi R\$).

Mínimo Máximo Custo (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Custo
		Oficial (1931)	1945	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	27,90	27,54	27,90
	1945	27,23	26,74	27,23
MÍNIMO				27,23

Mínimo Máximo Arrependimento (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Arrependimento
		Oficial (1931)	1945	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	0,00	0,81	0,81
	1945	-0,67	0,00	0,00
MÍNIMO				0,00

Mínimo Máximo Custo (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Custo
		Oficial (1931)	1976	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	27,90	23,71	27,90
	1976	25,36	17,16	25,36
MÍNIMO				25,36

Mínimo Máximo Arrependimento (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Arrependimento
		Oficial (1931)	1976	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	0,00	6,55	6,55
	1976	-2,54	0,00	0,00
MÍNIMO				0,00

Mínimo Máximo Custo (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Custo
		Oficial (1931)	1987	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	27,90	21,41	27,90
	1987	33,82	12,96	33,82
MÍNIMO				27,90

Mínimo Máximo Arrependimento (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Arrependimento
		Oficial (1931)	1987	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	0,00	8,45	8,45
	1987	5,92	0,00	5,92
MÍNIMO				5,92

Mínimo Máximo Custo (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Custo
		Oficial (1931)	1992	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	27,90	22,94	27,90
	1992	33,31	13,74	33,31
MÍNIMO				27,90

Mínimo Máximo Arrependimento (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Arrependimento
		Oficial (1931)	1992	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	0,00	9,19	9,19
	1992	5,41	0,00	5,41
MÍNIMO				5,41

Mínimo Máximo Custo (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Custo
		Oficial (1931)	1998	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	27,90	22,52	27,90
	1998	34,34	13,45	34,34
MÍNIMO				27,90

Mínimo Máximo Arrependimento (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Arrependimento
		Oficial (1931)	1998	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	0,00	9,07	9,07
	1998	6,45	0,00	6,45
MÍNIMO				6,45

Tabela C.II – Matrizes representativas da decisão sob incerteza para o caso do PMO de Janeiro/2019 – Custo Total de Operação (bi R\$).

Mínimo Máximo Custo (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Custo
		Oficial (1931)	1945	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	19,40	19,09	19,40
	1945	19,47	18,80	19,47
MÍNIMO		19,40		
Mínimo Máximo Arrependimento (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Arrependimento
		Oficial (1931)	1945	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	0,00	0,30	0,30
	1945	0,07	0,00	0,07
MÍNIMO		0,07		
Mínimo Máximo Custo (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Custo
		Oficial (1931)	1976	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	19,40	16,95	19,40
	1976	20,68	15,06	20,68
MÍNIMO		19,40		
Mínimo Máximo Arrependimento (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Arrependimento
		Oficial (1931)	1976	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	0,00	1,89	1,89
	1976	1,29	0,00	1,29
MÍNIMO		1,29		
Mínimo Máximo Custo (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Custo
		Oficial (1931)	1987	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	19,40	15,78	19,40
	1987	26,47	14,10	26,47
MÍNIMO		19,40		
Mínimo Máximo Arrependimento (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Arrependimento
		Oficial (1931)	1987	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	0,00	1,67	1,67
	1987	7,07	0,00	7,07
MÍNIMO		1,67		
Mínimo Máximo Custo (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Custo
		Oficial (1931)	1992	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	19,40	17,10	19,40
	1992	27,99	14,38	27,99
MÍNIMO		19,40		
Mínimo Máximo Arrependimento (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Arrependimento
		Oficial (1931)	1992	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	0,00	2,72	2,72
	1992	8,59	0,00	8,59
MÍNIMO		2,72		
Mínimo Máximo Custo (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Custo
		Oficial (1931)	1998	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	19,40	17,44	19,40
	1998	FALHA	14,78	FALHA
MÍNIMO		FALHA		
Mínimo Máximo Arrependimento (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Arrependimento
		Oficial (1931)	1998	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	0,00	2,66	2,66
	1998	FALHA	0,00	FALHA
MÍNIMO		FALHA		

Tabela C.III – Matrizes representativas da decisão sob incerteza para o caso do LEN A-4/2018 – Custo Total de Operação (bi R\$).

Mínimo Máximo Custo (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Custo
		Oficial (1931)	1992	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	31,14	29,07	31,14
	1992	41,15	21,16	41,15
MÍNIMO				31,14

Mínimo Máximo Arrependimento (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Arrependimento
		Oficial (1931)	1992	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	0,00	7,91	7,91
	1992	10,01	0,00	10,01
MÍNIMO				7,91

Mínimo Máximo Custo (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Custo
		Oficial (1931)	1998	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	31,14	31,15	31,15
	1998	37,46	23,61	37,46
MÍNIMO				31,15

Mínimo Máximo Arrependimento (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Arrependimento
		Oficial (1931)	1998	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	0,00	7,54	7,54
	1998	6,32	0,00	6,32
MÍNIMO				6,32

Tabela C.IV – Matrizes representativas da decisão sob incerteza para o caso do PDE 2026 – Custo Total de Operação (bi R\$).

Mínimo Máximo Custo (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Custo
		Oficial (1931)	1992	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	81,43	75,88	81,43
	1992	115,53	66,08	115,53
MÍNIMO				81,43

Mínimo Máximo Arrependimento (bi R\$)		Estado da natureza (histórico de vazões simulado)		Máximo Arrependimento
		Oficial (1931)	1992	
Decisão (Função de Custo Futuro)	Oficial (1931)	0,00	9,80	9,80
	1992	34,10	0,00	34,10
MÍNIMO				9,80