PLANEJAMENTO PROATIVO DE SECA PARA HIDROSSISTEMAS DO SEMIÁRIDO: DEFINIÇÃO DOS RISCOS TOLERÁVEIS POR ESTADO DE SECA, UM ESTUDO DE CASO DO HIDROSSISTEMA CATUCINZENTA / LAGOA DO CATU, CEARÁ, BRASIL

Luiz Martins de Araújo Júnior [1]; Alexandre Cunha Costa [2]; Antônio Marcelo Cavalcanti Novaes [3]; Lailson Ferreira da Silva [4]; Jued Lomba Purna [5]; Daniel Antonio Camelo Cid [6] & Francisco de Assis de Souza Filho [7]

Palavras-Chave – Riscos Toleráveis, Estado de Seca, Capacidade Máxima de Atendimento.

INTRODUÇÃO

A forma de lidar com as secas, historicamente entendida como um evento excepcional, implicava reações emergenciais aos seus efeitos sociais, políticos, econômicos e ambientais, frequentemente denominadas de "ações de combate", que propiciavam o alívio temporário para as populações afetadas por seus impactos negativos, favorecendo a dependência da sociedade em relação aos Estados [Campos (2014)].

Com o advento da última grande seca (2012-2018) no Nordeste Brasileiro, o setor de recursos hídricos do Ceará, apoiado pelo Ministério da Integração Nacional e pelo Banco Mundial, viu a necessidade de uma mudança de paradigma na gestão de secas, tradicionalmente reativo para outro mais proativo, tendo como base a gestão de risco. Nessa nova perspectiva sobre as secas, a "memória" (percepções, impactos e vulnerabilidades) deve ser preservada a fim aumentar a resiliência diante de futuros eventos, não sendo "lavada" com a chegada das primeiras chuvas como usualmente ocorria com o procedimento reativo, histórico. Os riscos devem ser definidos pela identificação das ameaças e oportunidades, propiciando uma melhor alocação e uso mais efetivo dos recursos hídricos. O planejamento de ações de mitigação e respostas às secas devem conter medidas proativas que ampliem a capacidade de resposta e reduzam os riscos [Souza Filho *et al*. (2022); Araújo Júnior *et al*. (2023)].

Nesse contexto, este trabalho visa avaliar o Hidrossistema Catucinzenta / Lagoa do Catu pela perspectiva dos recursos hídricos por meio da estimativa da oferta, da demanda atual e da definição da capacidade máxima tolerável de atendimento de demanda hídrica por estado de severidade da seca, bem como determinar os limiares dos estados de seca, visando a ampliação da oferta e a redução da demanda de acordo com a transição das zonas do reservatório, podendo estes servirem de gatilhos para o acionamento de ações de preparação, mitigação e respostas às secas.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho, adotou-se o procedimento metodológico descrito em CEARÁ (2022) elaborado no âmbito dos Planos de Gestão Proativos Seca [UFC (2025)], inicialmente foi realizado a caracterização da bacia hidrográfica do Hidrossistema Catucinzenta/Lagoa do Catu, Ceará, por meio de

1) Afiliação: Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável (IEDS), Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). E-mail: luiz_m_jr@unilab.edu.br.
2) Afiliação: Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável (IEDS), Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). E-mail: cunhacos@unilab.edu.br.
3) Afiliação: Instituto de Desenvolvimento Rural (IDR), Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). E-mail: marcelocavalcanti@unilab.edu.br.
4) Afiliação: Instituto de Humanidades (IH), Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). E-mail: lailson.silva@unilab.edu.br.
5) Afiliação: Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável (IEDS), Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB). E-mail: jued@aluno.unilab.edu.br.
6) Afiliação: Setor de Estudos e Pesquisas em Recursos Hídricos (GEPEH), Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). E-mail: daniel.cid@funceme.br.
7) Afiliação: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: assis@deha.ufc.br. (IN MEMORIAN)

levantamento bibliográfico e consulta a especialistas. Em seguida, foi feito um levantamento das demandas instaladas junto à Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH), bem como catalogação da estimativa da oferta hídrica com base no estudo da COGERH/UFC (2021).

O Estudo das vazões afluentes aos reservatórios é fundamental para a avaliação da oferta hídrica superficial. Contudo, como a maioria dos açudes cearenses não possui registro das vazões afluentes a estratégia utilizada foi a de reconstrução das séries históricas de afluências, através da regionalização de parâmetros de um modelo hidrológico [COGERH/UFC (2021)]. A partir da regionalização dos parâmetros, utilizou-se o modelo chuva-deflúvio SMAP [Lopes, Braga, Conejo (1981)] e obteve-se as séries mensais da afluência ao Açude Catucinzenta, considerando o período 1911-2019.

Para definição dos riscos toleráveis, inicialmente especialistas criam cenários de risco expressos através de porcentagens de racionamento das demandas hídricas antrópicas e tempo de permanência em cada estado de seca (Normal, Alerta, Seca e Seca Severa) que servem de entradas para um modelo de otimização da operação de reservatório juntamente com dados de vazão afluente, evaporação e demandas instaladas, semelhante ao proposto por Cid *et al*. (2022), resultando em níveis metas (ou curvas guias). Por meio de uma oficina, os cenários de riscos toleráveis e limiares dos estados de seca (Volumes Metas ou porcentagens dos volumes metas) são apresentados aos usuários e gestores de água do Sistema, bem como a vazão máxima de retirada para atendimento dos múltiplos usos. Uma votação é feita no intuito de identificar a preferência dos usuários. Caso nenhum cenário de risco tenha a aprovação da maioria da Comissão Gestora da Bacia, uma nova cenarização de riscos toleráveis deve ser feita pelos especialistas e o processo de definição inicia novamente. Caso os cenários sejam aprovados, o cenário escolhido pelos usuários definirá os gatilhos e a capacidade máxima tolerável de retiradas hídricas antrópicas por estado de seca da bacia hidrográfica em estudo.

RESULTADOS

O hidrossistema Catucinzenta / Lagoa do Catu possui distintos usos (Ver Tabela 1), dentre os quais destaca-se o abastecimento humano com demanda que vem aumentando rapidamente haja vista a alta especulação imobiliária que vem ocorrendo na região [CEARÁ (2024)]. Conforme dados do censo demográfico de 1991 e 2022 do IBGE a população residente nos municípios da bacia de contribuição do açude Catucinzenta, Aquiraz e Horizonte, somadas aumentaram de 64.588 para 155.400.

Tabela 1 – Demandas hídricas por tipo de uso no Hidrossistema Catucinzenta/Lagoa do Catu. Fonte: Levantamento junto à COGERH, 2025.

Tipo de uso	Vazão operada (l/s) em condições de normalidade*	Vazão operada (l/s) em condições de escassez**
Abastecimento humano	66	41
Indústria	1	1
Usos difusos	20	10
Perenização	0	200***
Total	87	252***

*Demandas média operacionadas na Lagoa do Catu em condições de normalidade.

** Estimativa das demandas média operacionadas na Lagoa do Catu em condições de escassez hídrica

***Somente se houver necessidade de liberação de água do Catucinzenta e na condição de ser realizada a limpeza do leito do Rio. Caso não haja necessidade de liberação a demanda total em condição de escassez hídrica é de 52 l/s.

As características da vazão afluente ao Açude Catucinzenta e suas vazões regularizadas são apresentadas na Tabela 2. Para todas as garantias em estudo, a afluência média anual é de 9,67 hm³/ano, sendo o rendimento hidrológico do reservatório 46,5 % quando considerada a garantia Q90, ou seja, 154 l/s (4,5 hm³/ano) de vazão regularizada para atendimento das demandas antrópicas. Para as demais garantias, 95% e 98%, os rendimentos hidrológicos caem para 38,7% e 31,6%, respectivamente e as vazões regularizadas ficam com 123l/s ou 3,75 hm³/ano (Q95) e 98 l/s ou 3,06 hm³/ano (Q98).

Tabela 2 – Características da vazão afluente ao Açude Catucinzenta e sua vazão regularizada para garantias de 90%, 95% e 98%. Fonte: Adaptado de COGERH/UFC (2021).

Garantia	Afluência Total	Vazão Regularizada			Vertimento		Evaporado	
	(hm³/ano)	l/s	hm³/ano	%	hm³/ano	%	hm³/ano	%
Q90		154	4,50	46,51	1,52	15,72	3,65	37,77
Q95	9,67	123	3,75	38,74	1,79	18,51	4,14	42,76
Q98		98	3,06	31,59	2,07	21,41	4,55	47,00

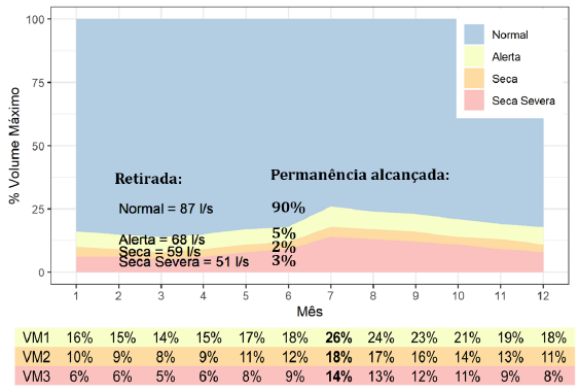
Para definição dos riscos toleráveis, com o intuito de tornar o processo de tomada de decisão mais simples, foi combinado um conjunto de valores de tempos de permanência com valores de contingência ou racionamento (Tabela 3), a fim de criar cenários (possibilidades) de referência que apresentem limites aceitáveis. Os tempos de permanência foram escolhidos por hidrólogos com tácito conhecimento da região para permitir que o Hidrossistema permaneça mais tempo em Estados menos graves, como Normal e Alerta. Quanto aos valores de racionamento/contingência, foram criadas duas possibilidades por estágio de seca. Ressalta-se que os racionamentos foram pensados para cada estado de seca, podendo a restrição por tipo de demanda ser definida posteriormente, em momento oportuno, pelos usuários e gestores de água do Hidrossistema, respeitando o valor total da contingência a depender da possibilidade escolhida.

Os resultados do modelo de operação baseados nas possibilidades supracitadas foram sintetizados na Figura 1 e apresentadas a Comissão Gestora do Catucinzenta/Lagoa do Catu. Os membros da Comissão Gestora escolheram entre duas possibilidades de definição dos volumes metas e vazões de capacidade de atendimento máxima por estado de seca, sendo a "Possibilidade 1" a mais votada (5 de 9 votos), definindo os volumes metas e as vazões de atendimento máximas toleradas por estado de seca. Essa capacidade de atendimento máxima é similar ao parâmetro de alocação máximo apresentado nas reuniões de alocação, podendo auxiliar na tomada de decisão durante as reuniões de alocação.

Tabela 3 – Taxas de permanência e de contingências para a criação de possibilidades de riscos toleráveis. Fonte: autoria própria.

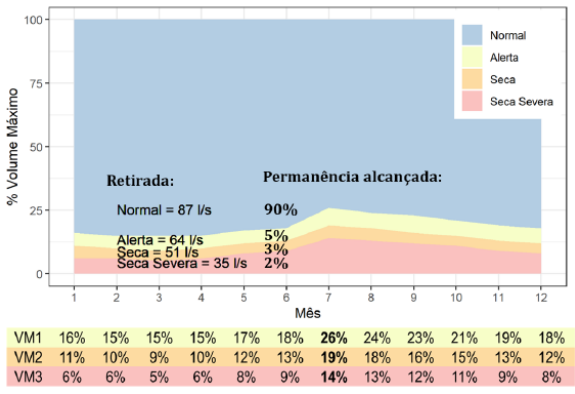
Taxa de	Normal	Alerta	Seca	Seca Severa
Permanência	90%	5%	3%	2%
Racionamento (Possibilidade 1)	0%	20%	30%	40%
Racionamento (Possibilidade 2)	0%	25%	45%	60%

Possibilidade 1



VM1	16%	15%	14%	15%	17%	18%	**26%**	24%	23%	21%	19%	18%
VM2	10%	9%	8%	9%	11%	12%	**18%**	17%	16%	14%	13%	11%
VM3	6%	6%	5%	6%	8%	9%	**14%**	13%	12%	11%	9%	8%

Possibilidade 2



VM1	16%	15%	15%	15%	17%	18%	**26%**	24%	23%	21%	19%	18%
VM2	11%	10%	9%	10%	12%	13%	**19%**	18%	16%	15%	13%	12%
VM3	6%	6%	5%	6%	8%	9%	**14%**	13%	12%	11%	9%	8%

Figura 1. Níveis metas de operação do Reservatório Catucinzenta para a Possibilidade 1 e Possibilidade 2 de risco tolerável, com liberação de 87 l/s no estado Normal e indicação da permanência alcançada em cada estágio de seca. Destaque para as porcentagens no mês de julho. Fonte: autoria própria.

CONCLUSÕES

Através da metodologia adotada, que une conhecimento técnico e participação popular, foi possível definir os riscos de seca tolerados e os níveis metas de operação em porcentagem da capacidade máxima do

reservatório por nível de severidade para o Hidrossistema Catucinzenta/Lagoa do Catu. Na Possibilidade 1, a mais votada, os níveis metas de operação do mês de julho [VM1(26%); VM2(18%); e VM3(14%)], mês da alocação negociada de água, servem de gatilho para que o Hidrossistema adote um racionamento de 22% no Estado de Alerta, 32% no Estado de Seca e 41% no Estado de Seca Severa afim de atingir a taxa de permanência requerida em todas as zonas de acumulação do reservatório. Os volumes metas também podem servir de suporte para o disparo de outras ações de mitigação e respostas à seca. É salutar mencionar que a definição da capacidade máxima tolerável de retirada antrópica por estado de seca obtida nesse trabalho não "engessa" a alocação negociada de água, mas serve de referência do risco tolerado pelos atores do hidrossistema. Caso se decida por valores de retirada superiores aos acordados, assume-se um risco de colapso hídrico superior ao tolerado, gerando impactos negativos antes do esperado.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO JÚNIOR, L. M.; SOUZA FILHO, F. A.; BARRETO, G. A.; CID, D. A. C.; PONTES FILHO, J. D. A. (2023). "A drought risk management system for early drought alert and proactive actions in large semi-arid áreas". Natural Hazards, v. 117, p. 2297-2324. https://doi.org/10.1007/s11069-023-05943-w.

CAMPOS, J. N. B. (2014). *"Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos"*. Estudos Avançados, v. 28, p. 65-88.

CEARÁ. (2022). Secretaria dos Recursos Hídricos. *PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA ELABORAÇÃO DE PLANOS DE SECAS - REGIÕES HIDROGRÁFICAS E HIDROSSISTEMAS - APLICAÇÃO: CEARÁ*. Fortaleza, CE: SRH. 22 p. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1poqncrhjwRxPsEV3US3dn-t1Uly629uP/view. Acesso em: 30 jun. 2026.

CEARÁ. (2024). Secretaria dos Recursos Hídricos. *Plano de Gestão Proativa de Secas – Hidrossistema Catucinzenta/Lagoa do Catu*. Fortaleza, CE: SRH. 82 p. Disponível em: https://cepas.ufc.br/pt_br/planejamento-de-secas-hidrossistemas/. Acesso em: 01 jun. 2026.

CID, D. A. C.; SOUZA FILHO, FRANCISCO DE ASSIS ; PORTO, V. C. (2022). *"Collaborative Modeling to construct a hedging policy for drought management in reservoir systems"*. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 149, p. 1-13. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001632

COGERH/UFC. (2021). Relatório de Cálculo das Afluências aos Reservatórios Estratégicos do Ceará: Definição das Vazões Oficiais. Projeto ALOCAR, 2021. Disponível em: https://www.cogerh.com.br/definicao-das-vazoes-oficiais-dos-reservatorios-monitorados-pela-cogerh/ Acesso em : 26 jun. 2026 .

LOPES, J. E. G.; BRAGA JR., B. P. F.; CONEJO, J. G. L. A. (1981). "*Simulação* Hidrológica: Aplicações de um Modelo Simplificado", in: Anais do III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Fortaleza: [s.n.], p. 42-62.

SOUZA FILHO, F. A.; STUDART, T. M. C.; PONTES FILHO, J. D.; MARTINS, E. S. P. R.; AYRIMORAES, S. R.; PESSOA, C. A. P.; ROLIM, L. Z. R.; ARAÚJO JÚNIOR, L. M.; SILVA, S. M. O.; CARVALHO, T. M. N.; AQUINO, S. H. S. (2022). *"Integrated proactive drought management in hydrosystems and cities: building a nine-step participatory planning methodology"*. Natural Hazards, v. 3, p. 1.

Universidade Federal do Ceará - UFC. (2025). *BOLETIM INFORMATIVO n° 3 | Programa Cientista Chefe apresenta Planos de Gestão Proativa de Seca para Hidrossistemas no Estado do Ceará*. Fortaleza, CE: UFC 13 p. Disponível em: https://aguacientistachefe.ufc.br/. Acesso em: 30 jun. 2026.