SNC·LAVALIN

TOMO II DO RELATÓRIO AMB-2: MODELO DE GESTÃO

Avaliação de Vulnerabilidade Ambiental e Socioeconômica para o Município de Curitiba

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS - ANTP

MEIO AMBIENTE

Fevereiro de 2013

TOMO II DO RELATÓRIO AMB-2: Modelo de gestão – Rev1
Projeto n°604470 – Adaptação Curitiba

AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL E SOCIOECONÔMICA PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA

Relatório Final AMB-2

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS - ANTP
São Paulo, São Paulo

N/Ref.: 604470 – Adaptação Curitiba

V/Ref.: GEF n° 007

Fevereiro de 2013
TOMO II – Modelo de Gestão

Preparado por: _____ Data: 11 de fevereiro de 2013
Rodrigo Freire de Macedo, M. Sc.
Engenheiro Hidráulico

Verificado por: Wanda Batista de Amorim Data: 11/02/2013
Wanda Batista de Amorim, Ph.D.
Especialista Ambiental

AVISO

Este documento exprime a opinião profissional da SNC-Lavalin Projetos Ltda. ("SLPL") no que diz respeito aos assuntos que nele são abordados. A opinião foi formulada com base nas competências profissionais no assunto e tomando as precauções que se impõem. O documento deve ser interpretado no contexto do contrato datado do dia 21 de novembro de 2011 celebrado entre a SLPL e a Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), tendo igualmente em conta a metodologia, os procedimentos e as técnicas utilizadas, e as hipóteses da SLPL, bem como as circunstâncias e as limitações que prevaleceram durante a execução deste mandato. O único objetivo deste documento é o que está definido no contrato, destinando-se exclusivamente ao uso do Cliente e sendo os recursos limitados aos que estão previstos no contrato. Deve ser lido como um todo, não podendo uma parte ou um extrato isolado serem lidos fora do seu contexto.

Ao preparar as suas estimativas, sempre que for o caso, a SLPL seguiu o método e os procedimentos requeridos e tomou as precauções adequadas ao grau de exatidão visado, com base nas suas competências profissionais no assunto e tomando as precauções que se impunham, sabendo que há uma forte probabilidade de que os valores reais sejam compatíveis com as estimativas. No entanto, a exatidão destas estimativas não pode ser garantida. Salvo indicação contrária expressa, a SLPL não contra-verificou as hipóteses, os dados e as informações provenientes de outras fontes (incluindo o Cliente, os outros consultores, os laboratórios de ensaio, os fornecedores de equipamentos, etc.) e sobre as quais a sua opinião é fundada. A SLPL não assume de modo algum a sua exatidão e declina qualquer responsabilidade a esse respeito.

Tanto quanto o permitem as leis aplicáveis, a SLPL declina, além disso, qualquer responsabilidade para com o Cliente e para com terceiros no que diz respeito à utilização (publicação, reenvio, referência, citação ou divulgação) da totalidade ou de parte do presente documento, bem como de qualquer decisão tomada ou ação empreendida baseando-se no presente documento.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO 1
1.1 Justificativa e Objetivos deste Estudo 1
1.2 A Região de Estudo 2

2. MANANCIAIS SUPERFICIAIS 4

3. DISPONIBILIDADES HÍDRICAS 8
3.1 Cenários de Disponibilidade Hídrica 8
3.2 Precipitação 8
3.3 Evapotranspiração 10
3.4 Disponibilidade Hídrica Superficial 13

4. DEMANDAS 16
4.1 Demanda Atual 16
4.2 Demanda Futura 17

5. MODELO DE FLUXO 18

6. DISPONIBILIDADES VERSUS DEMANDAS 25
6.1 Operação do Sistema – Clima e Demanda Atuais 26
6.2 Operação do Sistema – Clima Atual e Demanda Futura 26
6.3 Operação do Sistema – Clima Atual e Demanda Futura 26

7. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES 31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Região de Estudo (*Fonte: Instituto das Águas do Paraná, 2012*) 3
Figura 2.1: Região de Estudo e Mananciais Superficiais (Fonte: Instituto das Águas do Paraná, 2012) 6
Figura 3.1: Valores Médios Mensais de Precipitação – Estação 02549006 10
Figura 3.2: Acréscimo na taxa de evapotranspiração segundo o acréscimo de temperatura 12
Figura 3.3: Aportes médios mensais – Cenários Climáticos 13
Figura 5.1: Modelo de Fluxo - Representação Esquemática do Sistema de Mananciais Superficiais da RMC *(Fonte: SANEPAR, 2012)* 20
Figura 6.1: Curva de Permanência – Volumes no Sistema de Reservatórios. Comparação entre os cenários de referência Demanda Futura e Demanda Presente 28
Figura 6.2: Curvas de Permanência – Volume Total no Sistema de Reservatórios, comparação entre os Cenários Climáticos 29
Figura 6.3: Curvas de Permanência – Percentual de Demanda Futura Atendida, comparação entre os Cenários Climáticos. 30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Municípios da RMC que fazem parte da bacia do Alto Iguaçu 2
Tabela 2.1: Principais Características dos Reservatórios Existentes 7
Tabela 2.2: Principais Características das ETAs 7
Tabela 3.1: Cenários de Disponibilidade Hídrica 8
Tabela 3.2: Valores Médios Mensais de Precipitação – Estação 02549006 9
Tabela 3.3: Evapotranspiração média mensal – método de Thornthwaite (Chang, 1968), estação Piraquara 11
Tabela 3.4: Aportes médios mensais – Cenários Climáticos 14
Tabela 4.1: Informações obtidas junto a SANEPAR 16
Tabela 4.2: População e Demanda Atual 16
Tabela 4.3: População e Demanda Futura 17
Tabela 5.1: Vazões mínimas a serem mantidas a jusante dos reservatórios 23
Tabela 6.1: Cenários de operação do sistema de mananciais 25
Tabela 6.2: Falhas no abastecimento d'água, percentual do tempo 27

ANEXOS

ANEXO I: Dados das represas
ANEXO II: Resultados do modelo de fluxo

ABREVIATURAS

AMB	Relatório Técnico relativo à etapa de Avaliação das Vulnerabilidades e Potencialidades Ambientais
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
CCCma	*Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis*
CGCM3	*Coupled Global Climate Model version* 3
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
ETA	Estação de Tratamento de Água
GEF	*Global Environment Fund*
HadRM3P	*Hadley Centre Regional Model version* 3
HEC	*Hydrologic Engineering Center*
HEC-HMS	*Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System*
HEC-ResSIM	*Hydrologic Engineering Center's Reservoir System Simulation*
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPPUC	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
N/Ref	Nossa Referência
PROENSI	Projetos e Engenharia de Sistemas Ltda
RMC	Região Metropolitana de Curitiba
SAIC	Sistema de Abastecimento de Água Integrado
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SIG	Sistema de Informação Geográfico
SLPL	SNC-Lavalin Projetos Ltda.
USRH	Unidade de Serviço de Recursos Hídricos
V/Ref	Vossa Referência

1. INTRODUÇÃO

Este documento trata-se da segunda parte do Segundo Relatório Técnico relativo à etapa de Avaliação das Vulnerabilidades e Potencialidades Ambientais e refere-se ao desenvolvimento de um modelo de gestão de fluxo.

No presente documento são descritas as atividades desenvolvidas e apresentados os resultados dos estudos referentes à avaliação dos impactos de cenários de mudanças climáticas e projeções de crescimento da demanda por água sobre os mananciais superficiais da região de estudo, ou seja, a Região Metropolitana de Curitiba (RMC) inserida na bacia do Alto Iguaçu.

Este estudo foi realizado através de um modelo de fluxo desenvolvido com o software HEC-ResSIM (HEC, 2007). Este modelo de fluxo simula a dinâmica dos mananciais superficiais levando-se em consideração as demandas por água e os diferentes regimes de aportes superficiais e perdas por evaporação, segundo os respectivos cenários climáticos aqui estudados. No presente estudo os mananciais superficiais referem-se aos reservatórios e cursos d'água onde são feitas as captações d'água.

Os cenários de mudanças climáticas considerados no presente estudo são os mesmos descritos no Tomo I do presente relatório, a saber: os cenários A1B (GCMA1B) e o A2 (GCMA2) para as narrativas do modelo global CCCma_cgcm3, e os cenários A2 (HADA2) e B2 (HADB2) para as narrativas do modelo regional HadRM3P. As projeções de crescimento da população, e consequentemente da demanda por água, são baseadas em estudos feitos pela SANEPAR (SANEPAR, 2011). O modelo hidrológico HEC-HMS (HEC, 2010), calibrado para os estudos desenvolvidos no âmbito do Tomo I deste relatório, foi utilizado para a simulação das disponibilidades hídricas segundo as narrativas dos cenários climáticos futuros estudados e para as condições climáticas atuais.

A avaliação dos impactos de cenários de mudanças climáticas sobre os mananciais superficiais é feita através da comparação das condições operacionais do sistema de mananciais, segundo os padrões climáticos atuais e os padrões futuros. No presente estudo, o cenário atual, de base comparativa, é referido como Cenário de Referência.

1.1 Justificativa e Objetivos deste Estudo

Conforme Tomo I, o município de Curitiba, através do Decreto No. 1.186/2009, criou o Fórum Curitiba sobre Mudanças Climáticas, o qual tem como objetivo debater e propor medidas de mitigação e adequação às inevitáveis mudanças climáticas, por meio de recomendações técnicas encaminhadas às autoridades gestoras dos espaços urbanos.

O município de Curitiba, ciente da necessidade de antever problemas de ordem ambiental e social decorrentes das consequências das mudanças climáticas, elaborou em parceria com o Fórum Curitiba sobre Mudanças Climáticas, um plano de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, conforme plano de ação apresentado no Anexo do Decreto No. 1.186/2009.

Uma das etapas deste plano de ação diz respeito à execução do presente Estudo de Vulnerabilidade Ambiental que permitirá, entre outros objetivos, a identificação de potenciais impactos sobre o sistema de mananciais superficiais que abastece a RMC inserida na bacia do Alto Iguaçu.

1.2 A Região de Estudo

A região de estudo que motivou a realização do presente trabalho é a bacia do Alto Iguaçu. Esta abrange 15 municípios da RMC, conforme apresentado na Tabela 1.1.

Tabela 1.1: Municípios da RMC que fazem parte da bacia do Alto Iguaçu

Município	População*
Almirante Tamandaré	103.204
Araucária	119.123
Balsa Nova	11.300
Campina Grande do Sul	38.769
Campo Largo	112.377
Campo Magro	24.843
Colombo	212.967
Contenda	15.891
Curitiba	1.751.907
Fazenda Rio Grande	81.675
Mandirituba	22.220
Pinhais	117.008
Piraquara	93.207
Quatro Barras	19.851
São José dos Pinhais	264.210
TOTAL	**2.988.552**

* Fonte: (IBGE, 2010)

Segundo o censo demográfico do IBGE (2010), a população total destes municípios é de 2.988.552 habitantes, com uma densidade populacional média de aproximadamente 500 hab/km^2. Curitiba, sendo o município mais populoso, possui uma densidade populacional de 4.052 hab/km^2.

A Figura 1.1 ilustra a área de abrangência da bacia do Alto Iguaçu, as sub-bacias hidrográficas dos seus principais afluentes, os respectivos municípios abrangidos pela bacia e as manchas de ocupação urbana. Esta Figura foi produzida a partir de dados em formato SIG (Sistema de Informação Geográfico) adquiridos junto ao Instituto de Águas do Paraná (2012).

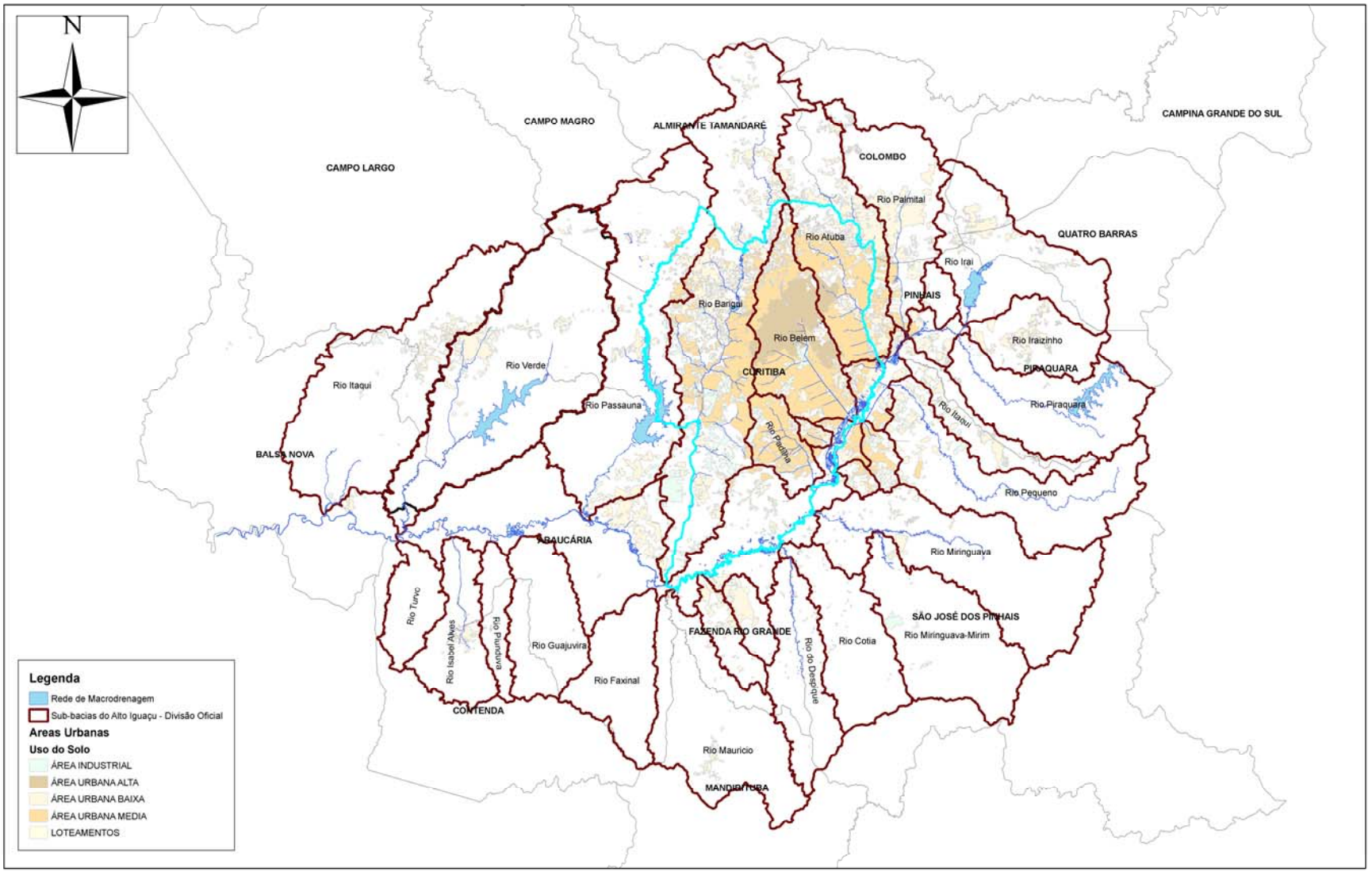

Figura 1.1: Região de Estudo (*Fonte: Instituto das Águas do Paraná, 2012*)

2. MANANCIAIS SUPERFICIAIS

Os municípios da RMC são abastecidos pelas vazões regularizadas das Represas Iraí, Passaúna, Piraquara I e Piraquara II, e pelas vazões não regularizadas dos rios Miringuava, Pequeno, Itaqui e Iraizinho. As águas destes rios e represas são captadas e tratadas nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) Iraí, Iguaçu, Pequeno, Miringuava e Passaúna, e então introduzidas no sistema integrado de distribuição de águas da SANEPAR.

O sistema de distribuição integrado é capaz de gerenciar de maneira eficaz as disponibilidades hídricas dos diversos mananciais superficiais (rios e reservatórios), de forma que uma parcela considerável das águas captadas é proveniente de vazões não regularizadas.

Segundo dados da SANEPAR (2012/2013), o sistema de mananciais superficiais atende a uma população estimada em 2.808.230 habitantes (estimativas para o ano de 2013) o que equivale a uma demanda média de aproximadamente 687 milhões de litros por dia. Este valor para a demanda compreende os consumos assim como as perdas no sistema de distribuição.

A Figura 2.1 ilustra e destaca a localização dos mananciais superficiais (represas e rios), das Estações de Tratamento de Águas (ETA) e das respectivas áreas de drenagem que contribuem com os aportes de água superficial. A Figura 5.1 ilustra um esquema representativo do sistema de mananciais superficiais.

A ETA Iraí é abastecida pelas vazões regularizadas pelos reservatórios Iraí, Piraquara I e Piraquara II, assim como pelas contribuições da bacia hidrográfica do rio Iraizinho e das bacias incrementais a jusante destes reservatórios ainda nos rios Iraí e Piraquara. As águas dos rios Iraí (já com a contribuição do Iraizinho) e Piraquara (barragem Piraquara I + Piraquara II) se encontram no chamado Canal Extravasor. Neste canal, em ponto próximo a Rodovia João Leopoldo Jacomel, há uma bifurcação do Canal Extravasor, sendo que parte do volume de água segue para o canal/leito do Rio Iraí o qual abastecerá a captação da ETA Iraí, e parte segue para a ETA Iguaçu.

A ETA Iguaçu recebe, portanto, parte das águas que passa pela bifurcação assim como as vazões não regularizadas provenientes dos rios Itaqui e Pequeno. A ETA Pequeno é abastecida pelo rio Pequeno. A ETA Miringuava é abastecida pelo rio Miringuava. A ETA Passaúna capta diretamente do reservatório Passaúna.

Estima-se que o sistema de mananciais e captações coleta escoamentos superficiais provenientes de bacias hidrográficas que totalizam aproximadamente 711,0 km^2, o que corresponde a aproximadamente 23% da área de drenagem total da bacia do Alto Iguaçu. Segundo estimativas efetuadas com o modelo hidrológico calibrado HEC-HMS (Tomo I deste relatório), a disponibilidade hídrica superficial média atual para o sistema é de 1.373 milhões de litros por dia, ou seja, aproximadamente 200% do volume demandado do sistema atualmente. Estas estimativas indicam que presentemente o sistema é capaz de suprir as demandas atuais, levando-se em consideração as perdas por distribuição.

As Tabelas 2.1 e 2.2 apresentam respectivamente as principais características dos reservatórios e captações (ETAs) componentes do sistema de mananciais da SANEPAR. A Tabela 2.1 indica que o sistema de reservatórios possui um volume útil de 143,26 milhões de metros cúbicos. Os valores de demanda média diária apresentados na Tabela 2.2 foram estimados levando-se em consideração um consumo médio diário de 460 litros por economia por dia e perdas na distribuição de 0,41%, conforme SANEPAR (2012/2013).

As curvas cota-volume dos reservatórios, e demais dados intervenientes ao presente estudo, estão apresentadas no Anexo I.

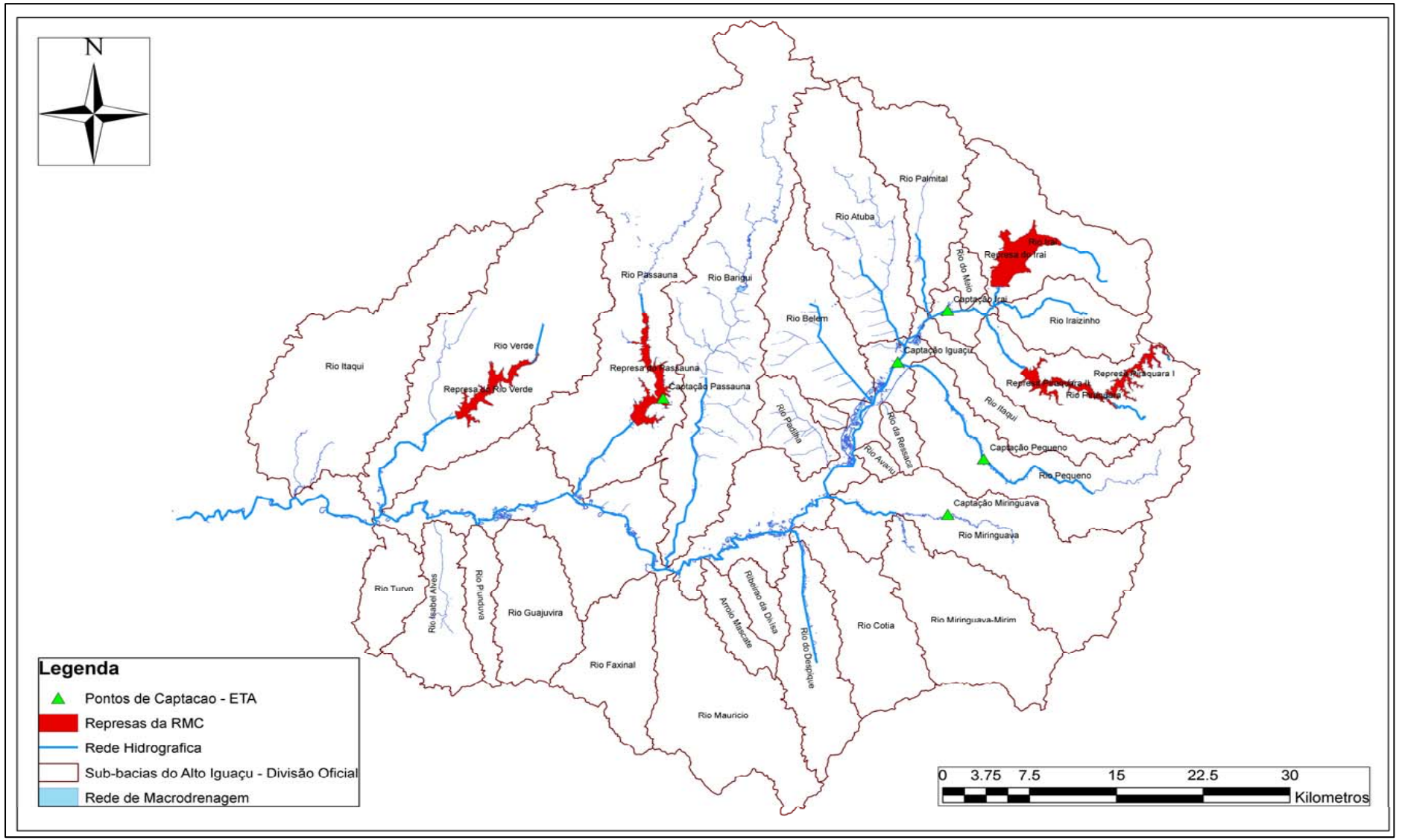

Figura 2.1: Região de Estudo e Mananciais Superficiais (Fonte: Instituto das Águas do Paraná, 2012)

Tabela 2.1: Principais Características dos Reservatórios Existentes

Parâmetros	Reservatórios				Sistema
	Iraí	Passaúna	Piraquara I	Piraquara II	Total
Capacidade (10^6 x m^3)	58,00[1]	48,00[1]	23,00[1]	20,80[1]	149,80[1]
Volume Morto (10^6 x m^3)	6,00[1]	0,00[1]	0,42[1]	0,12[1]	6,54[1]
Volume Útil (10^6 x m^3)	52,0[1]	48,0[1]	22,58[1]	20,68[1]	143,26[1]
Área de Drenagem (km^2)	107,8[2]	151,4[2]	26,8[2]	58,6[2]	344,6[2]

Fontes: 1 - SANEPAR, 2012/2013; 2 - Valores estimados com o software ArcView.

Tabela 2.2: Principais Características das ETAs

ETA	Capacidade Instalada (litros/segundo)	Produção Atual (litros/segundo)	População Atendida (habitantes)	Demanda Média Diária (10^6 x litros / dia)	Área de Drenagem Cumulativa (km^2)
Iraí	3.200,0[1]	2.600,0[1]	549.031[2]	113,2	288,1[3]
Iguaçu	3.600,0[1]	3.300,0[1]	740.692[2]	152,7	445,9[3]
Iraí + Iguaçu	6.800,0[1]	5.900,0[1]	584.348[2]	120,5	445,9[3]
Pequeno	200,0[1]	200,0[1]	52.382[2]	10,8	81,8[3]
Miringuava	2.000,0[1]	700,0[1] [4]	330.025[2]	68,1	114,0[3]
Passaúna	2.000,0[1]	1.800,0[1]	680.177[2]	140,3	151,4[3]
Sistema - Total	11.000,0[1]	8.880,0[1] [4]	2.936.655[2]	605,5	793,1[3]

Fontes: 1 - SANEPAR, 2005; 2 – SANEPAR, 2012/2013; 3 – Valores estimados com o software ArcView; 4 –Após a conclusão da Barragem Piraquara em 2016.

3. DISPONIBILIDADES HÍDRICAS

Conforme citado anteriormente, foi utilizado o modelo hidrológico HEC-HMS calibrado para estimar as disponibilidades hídricas superficiais, o qual leva em consideração as variáveis precipitação, temperatura e evapotranspiração na simulação dos processos hidrológicos intervenientes a produção de escoamentos superficiais e de base nos cursos d'água que alimentam os mananciais do sistema.

3.1 Cenários de Disponibilidade Hídrica

Para a precipitação foram considerados quatro cenários climáticos futuros, a saber: GCMA1B, GCMA2, HADA2 e HADB2. Visto a incerteza na determinação do acréscimo de temperaturas para os cenários climáticos futuros com relação aos padrões climatológicos atuais, o presente estudo considerou quatro (4) cenários de evapotranspiração segundo potenciais acréscimos de temperaturas médias anuais de 1ºC, 2ºC, 3ºC e 4ºC. As taxas de evapotranspiração podem ser determinadas também em função da temperatura.

Assim, para efeito de estudo de disponibilidade hídrica, segundo narrativas de cenários climáticos futuros, considerou-se, no presente estudo, dezesseis (16) cenários futuros. Estes cenários futuros de disponibilidade hídrica resultam de uma combinação entre os quatro cenários climáticos futuros de precipitação (GCMA1B, GCMA2, HADA2 e HADB2) e os quatro cenários de evapotranspiração respectivos aos quatro acréscimos potenciais de temperatura média anual (1ºC, 2ºC, 3ºC e 4ºC). A Tabela 3.1 ilustra os cenários futuros de disponibilidade hídrica resultantes destas combinações.

Além dos cenários futuros de disponibilidade hídrica, também foi aqui estudado um cenário atual de disponibilidade hídrica baseado em dados hidrológicos históricos. Este cenário de base é chamado de Cenário de Referência.

Tabela 3.1: Cenários de Disponibilidade Hídrica

		Cenários de Precipitação			
		GCMA1B	**GCMA2**	**HADA2**	**HADB2**
Cenários de Acréscimo na Temperatura Média Anual	+1ºC	GCMA1B+1	GCMA2+1	HADA2+1	HADB2+1
	+2ºC	GCMA1B+2	GCMA2+2	HADA2+2	HADB2+2
	+3ºC	GCMA1B+3	GCMA2+3	HADA2+3	HADB2+3
	+4ºC	GCMA1B+4	GCMA2+4	HADA2+4	HADB2+4

3.2 Precipitação

No Tomo I deste relatório é apresentada uma descrição da metodologia utilizada para a modelagem dos processos de precipitação sobre as bacias hidrográficas contribuintes ao sistema de mananciais da região de estudo.

Para o Cenário de Referência, foram considerados dados históricos de precipitações entre os anos de 1961 e 1990. O Cenário de Referência é o cenário climático atual, ou histórico, que serve como base de comparação para a avaliação dos impactos dos prospectos das mudanças climáticas sobre os mananciais superficiais da região de estudo. As precipitações, segundo as narrativas dos cenários climáticos futuros, foram modeladas através da metodologia dos Deltas, também descrita no Tomo I deste relatório.

A Tabela 3.2 abaixo apresenta uma síntese dos valores médios de precipitação que podem ser esperados, segundo as narrativas dos cenários climáticos aqui estudados. Estes valores são referentes à modelagem efetuada sobre os dados da estação pluviométrica de Curitiba (código DNAEE 02549006). Os valores estimados para as demais estações consideradas no modelo hidrológico encontram-se apresentados nos anexos do Tomo I do presente relatório. Estes valores são demonstrados de forma gráfica na Figura 3.1.

De acordo com os dados da Tabela 3.2, todos os cenários climáticos indicam um acréscimo no total de precipitação anual. Quanto aos valores médios mensais, verifica-se que o acréscimo é mais acentuado nos três meses mais chuvosos, ou seja, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Os cenários derivados do modelo global CCCma_cgcm3 indicam uma pequena redução de precipitação nos períodos menos chuvosos, enquanto que os cenários derivados do modelo regional HadRM3P indicam um aumento de precipitação em todos os meses. Para o mês menos chuvoso de agosto, a redução média indicada pelos modelos climatológicos é de 7%. Para a precipitação anual média, o modelo global indica um acréscimo de precipitação entre 3% a 7%, enquanto que segundo, o modelo regional, o acréscimo de precipitação estaria entre 15% a 20%.

Tabela 3.2: Valores Médios Mensais de Precipitação – Estação 02549006

Mês	Cenário				
	1961-1990	GCMA1B	GCMA2	HADA2	HADB2
Janeiro	171,5	196,2	204,4	206,5	232,0
Fevereiro	146,0	152,6	167,8	177,3	151,9
Marco	132,6	128,8	137,9	155,3	148,5
Abril	94,0	97,0	96,0	94,8	95,7
Maio	99,2	88,7	94,4	129,7	119,9
Junho	105,2	105,1	100,4	149,1	117,8
Julho	89,1	87,4	91,1	111,3	88,7
Agosto	73,6	66,1	72,3	66,7	71,8
Setembro	115,1	106,6	102,4	149,1	151,4
Outubro	131,4	144,6	150,5	179,4	173,0
Novembro	124,0	145,3	137,3	145,0	122,9
Dezembro	153,5	166,0	175,8	158,8	176,5
Total Anual	**1.435,3**	**1.484,6**	**1.530,4**	**1.722,9**	**1.650,0**

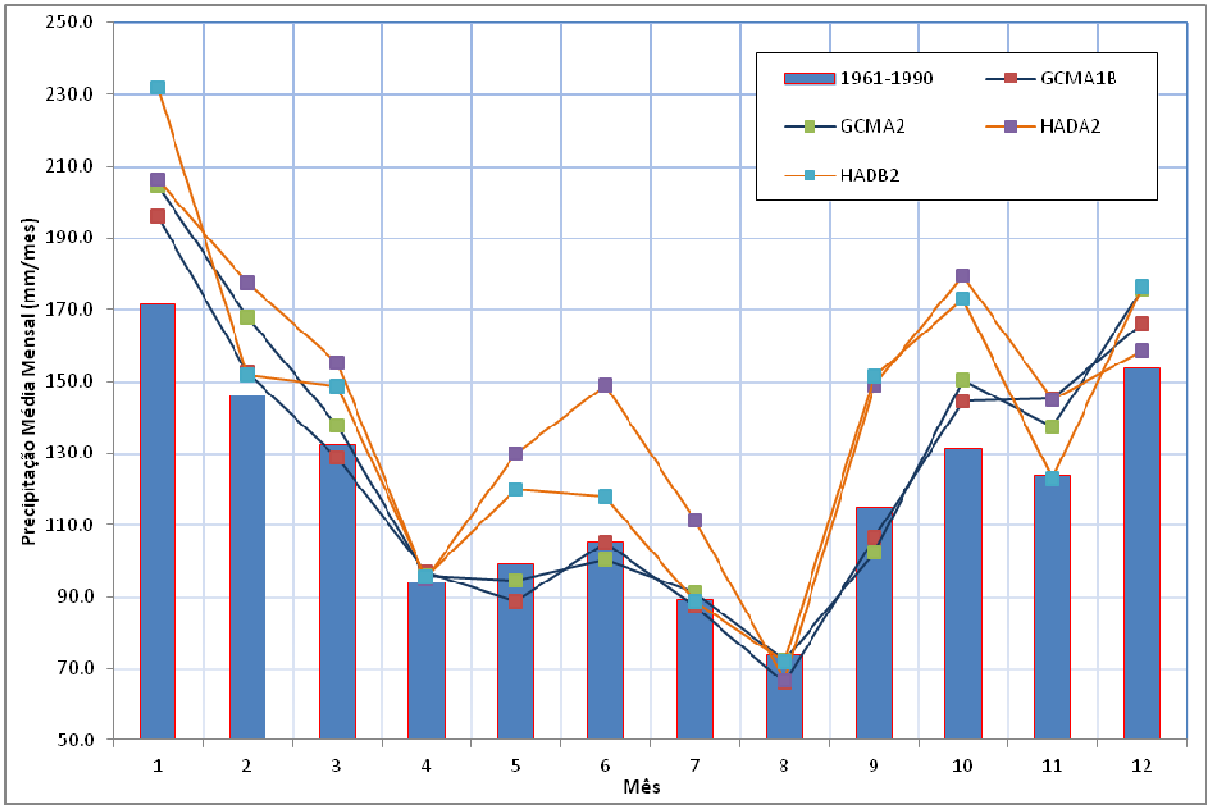

Figura 3.1: Valores Médios Mensais de Precipitação – Estação 02549006

3.3 Evapotranspiração

A evapotranspiração é a perda de água do solo por evaporação e a perda de água da planta por transpiração. A taxa de evapotranspiração é uma função de variáveis climáticas tais como a temperatura. Os efeitos da evapotranspiração devem ser levados em conta para uma condução apropriada de estudos de disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas que contribuem para os mananciais superficiais.

No presente estudo foi considerado somente a variável temperatura na determinação das taxas de evapotranspiração para os cenários climáticos futuros, os potenciais acréscimos de temperatura considerados foram 1ºC, 2ºC, 3ºC e 4ºC, conforme citado anteriormente.

O modelo hidrológico calibrado simula os efeitos da evapotranspiração diretamente sobre a superfície do solo e sobre a vegetação. A forma na qual a evapotranspiração atua sobre a modelagem dos volumes d'água do solo é descrita no sub-item 3.2.2.1 do Tomo I deste relatório. A modelagem dos processos de evaporação sobre os reservatórios é feita diretamente no modelo de fluxo construído com o software HEC-ResSIM (HEC, 2007).

Na modelagem hidrológica em questão, considerou-se uma sequência de valores médios mensais de evapotranspiração. Estes valores médios mensais de evapotranspiração foram calculados segundo o método de Thornthwaite (Chang, 1968), com base nos dados de temperatura médios diários da estação climatológica de Piraquara (código DNAEE 02549041), esta estação possui dados de temperatura diários para o período de fevereiro de 1970 até setembro de 1998.

O método de Thornthwaite foi escolhido para o presente estudo devido a sua simplicidade de aplicação e por necessitar apenas de dados de temperatura. O método de Thornthwaite correlaciona a temperatura do ar com a evapotranspiracao da seguinte forma (Tucci, 1998):

$$ETP = 16 \times F_C \times \left(10 \times \frac{T}{I}\right) \times a$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{t_i}{5}\right)^{1,514}$$

$$a = 67{,}5 \times 10^{-8} \times I^3 - 7{,}71 \times 10^{-6} \times I^2 + 0{,}01791 \times I + 0{,}492$$

Na qual:

ETP = evapotranspiração potencial (mm/mês);

T = temperatura média do ar (ºC);

F_c = fator de correção em função da latitude e mês do ano;

t_i = temperatura do mês i.

Para os cenários climáticos futuros, foram utilizados os resultados derivados da aplicação da metodologia dos Deltas, conforme apresentado no item 4.1.1 do Tomo I deste relatório. Os resultados para o cenário de referência e os cenários futuros de temperatura para a estação Piraquara estão apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Evapotranspiração média mensal – método de Thornthwaite (Chang, 1968), estação Piraquara

Mês	Evapotranspiração Média Mensal (mm/mês)				
	Cenários				
	Referência	+1ºC	+2ºC	+3ºC	+4ºC
Janeiro	162,6	173,2	196,7	226,0	262,9
Fevereiro	145,9	154,6	175,9	202,4	235,9
Marco	134,9	145,3	164,4	188,1	217,8
Abril	92,9	99,9	111,6	126,0	143,7
Maio	64,9	70,4	77,7	86,4	96,9
Junho	47,6	51,4	56,3	62,0	68,8
Julho	50,0	54,0	59,1	65,2	72,4
Agosto	60,0	67,8	74,6	82,7	92,4
Setembro	68,2	82,3	91,1	101,7	114,6
Outubro	96,4	113,2	126,5	142,6	162,5
Novembro	120,2	138,4	155,8	177,4	204,3
Dezembro	149,9	167,6	189,9	217,6	252,4
Total Anual	**1.193,5**	**1.318,1**	**1.479,6**	**1.678,1**	**1.924,6**

A evaporação total anual média, estimada através do método acima descrito para o período histórico correspondente ao cenário de referência, condiz com as estimativas feitas por Kobiyama e Vestena (2006) que resultaram numa evapotranspiração potencial média de 1.137,0 mm para a estação Piraquara. Os autores utilizaram o método de PENMAN modificado.

A Figura 3.2 abaixo apresenta a evolução do aumento na taxa de evapotranspiração média anual segundo o aumento da temperatura. Este aumento segue uma relação polinomial de segunda ordem.

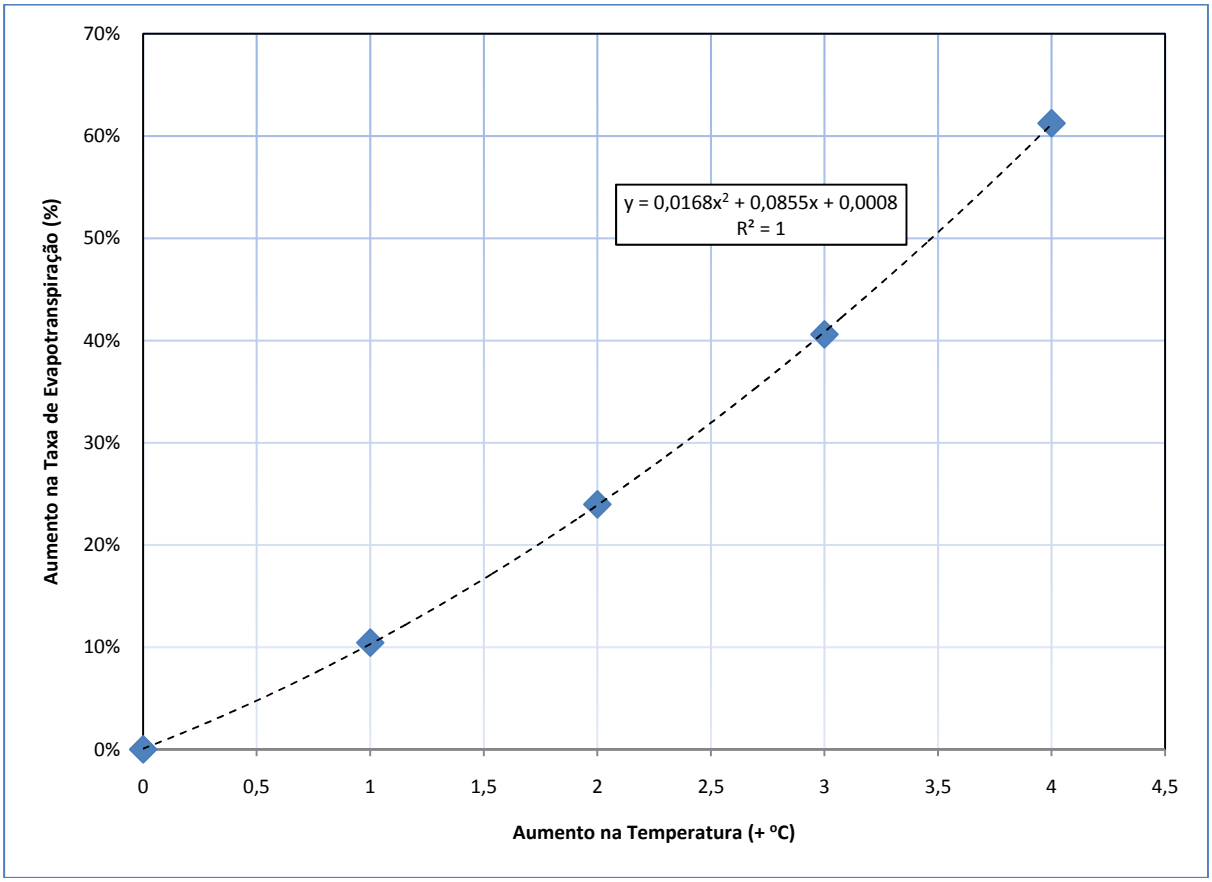

Figura 3.2: Acréscimo na taxa de evapotranspiração segundo o acréscimo de temperatura

3.4 Disponibilidade Hídrica Superficial

Como mencionado no item 3.1 do presente relatório, a disponibilidade hídrica superficial, para o sistema de mananciais objeto do presente estudo, foi estimada utilizando-se o modelo hidrológico calibrado para os cenários climáticos futuros apresentados na Tabela 3.1 e para o cenário de referência.

No âmbito do presente estudo, a disponibilidade hídrica superficial refere-se aos escoamentos superficiais e escoamentos de base provenientes dos rios que alimentam os reservatórios e captações do sistema de produção da SANEPAR. Os escoamentos nestes rios são simulados através do modelo hidrológico calibrado (Tomo I) que leva em consideração a dinâmica entre a precipitação, a evapotranspiração e os processos de infiltração e escoamento superficial nas respectivas bacias hidrográficas.

A Figura 3.3 ilustra e a Tabela 3.4 apresenta os valores dos aportes médios mensais estimados para os cenários climáticos aqui estudados e para o cenário de referência. Segundo os resultados apresentados na Tabela 3.4, apenas dois cenários climáticos, os cenários GCMA1B+4 e GCMA1B+3, indicam uma redução na disponibilidade hídrica média anual para o sistema de mananciais. A redução indicada por estes dois cenários, no entanto, é muito pequena, ou seja, uma redução da ordem de 3% a 1%. Todos os demais 14 cenários indicam um aumento na disponibilidade hídrica média anual de até 24%.

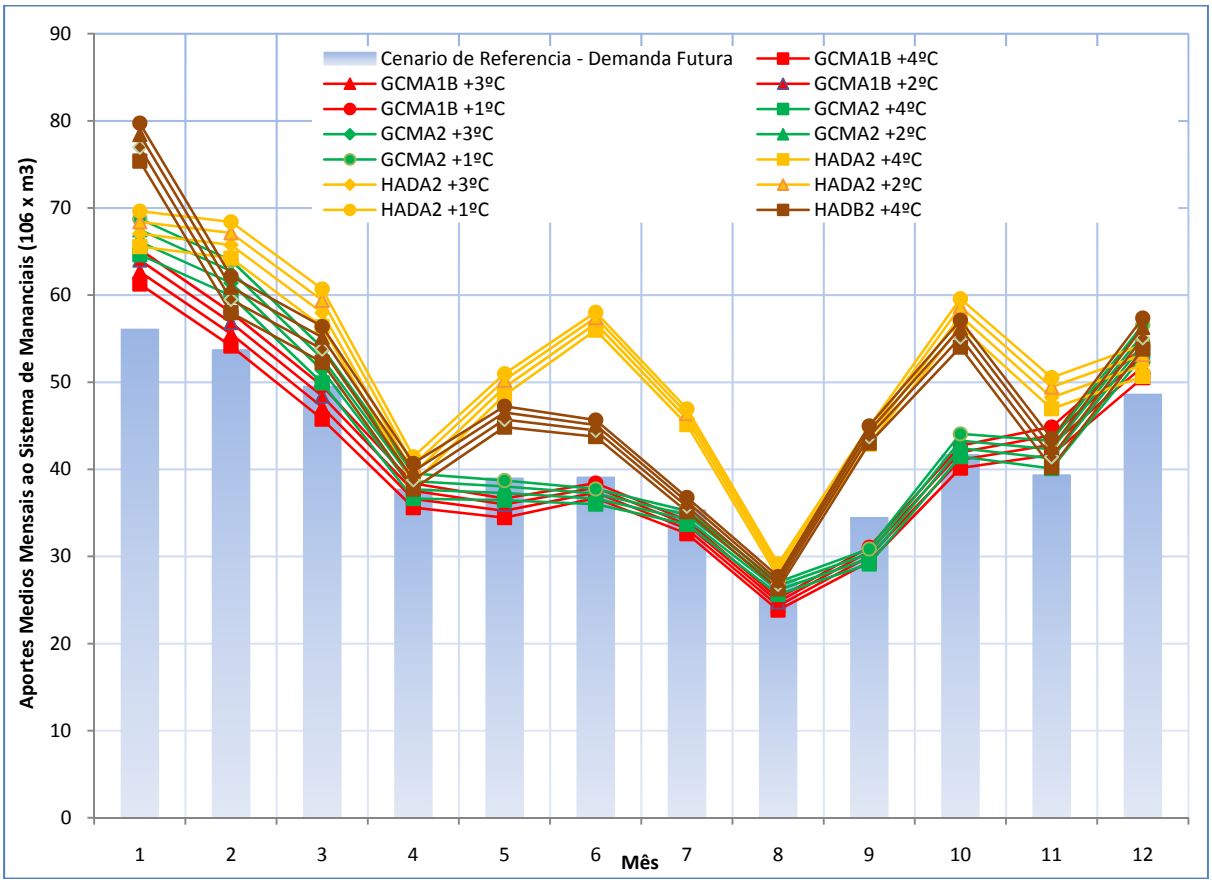

Figura 3.3: Aportes médios mensais – Cenários Climáticos

Tabela 3.4: Aportes médios mensais – Cenários Climáticos

Cenários		Mês												Total Anual
		Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
		Aportes Mensais (10^6 x m^3)												
Cenário de Referência		56,0	53,7	49,5	37,7	39,0	39,1	35,3	27,3	34,4	41,6	39,3	48,6	501,5
+4ºC	GCMA1B	61,3	54,2	45,8 (1)	35,6 (1)	34,5 (1)	36,7 (1)	32,6 (1)	23,8 (1)	29,4 (1)	40,1 (1)	41,7	50,5	486,1 (1)
	GCMA2	64,6	59,9	49,9	36,6 (1)	36,5 (1)	36,0 (1)	33,7 (1)	25,6 (1)	29,1 (1)	41,5 (1)	40,1	53,0	506,6
	HADA2	65,6	64,2	56,4	38,4	48,5	56,0	45,1	27,6	42,9	56,4	46,9	50,7	598,8
	HADB2	75,4	58,0	52,3	37,7	44,8	43,7	35,1 (1)	26,3 (1)	43,0	54,0	40,2	53,8	564,4
+3ºC	GCMA1B	62,7	55,6	47,1 (1)	36,6 (1)	35,2 (1)	37,3 (1)	33,2 (1)	24,3 (1)	30,0 (1)	41,1 (1)	42,8	51,8	497,8 (1)
	GCMA2	66,1	61,4	51,4	37,7	37,3 (1)	36,6 (1)	34,3 (1)	26,1 (1)	29,8 (1)	42,4	41,2	54,3	518,6
	HADA2	67,0	65,7	58,0	39,5	49,4	56,7	45,8	28,2	43,6	57,6	48,3	52,0	611,8
	HADB2	77,0	59,5	53,8	38,8	45,7	44,5	35,7	26,8 (1)	43,7	55,2	41,4	55,1	577,2
+2ºC	GCMA1B	64,0	56,8	48,4 (1)	37,5 (1)	36,0 (1)	37,9 (1)	33,7 (1)	24,8 (1)	30,6 (1)	41,9	43,9	53,0	508,5
	GCMA2	67,5	62,8	52,7	38,6	38,0 (1)	37,2 (1)	34,8 (1)	26,6 (1)	30,3 (1)	43,3	42,3	55,5	529,7
	HADA2	68,4	67,1	59,4	40,5	50,2	57,4	46,4	28,7	44,3	58,7	49,4	53,2	623,7
	HADB2	78,4	60,9	55,2	39,8	46,5	45,1	36,3	27,3	44,4	56,2	42,5	56,3	588,8
+1ºC	GCMA1B	65,2	58,0	49,6	38,4	36,6 (1)	38,4 (1)	34,1 (1)	25,2 (1)	31,1 (1)	42,7	44,9	54,1	518,3
	GCMA2	68,7	64,0	54,0	39,5	38,7 (1)	37,8 (1)	35,2 (1)	27,0 (1)	30,9 (1)	44,1	43,3	56,6	539,7
	HADA2	69,6	68,4	60,7	41,4	51,0	58,0	46,9	29,2	44,9	59,6	50,5	54,3	634,5
	HADB2	79,7	62,2	56,4	40,7	47,2	45,7	36,8	27,7	45,0	57,1	43,5	57,4	599,4
Número de cenários climáticos que indicam uma redução na disponibilidade hídrica		-	-	3 (18,7%)	4 (25,0%)	8 (50,0%)	8 (50,0%)	9 (56,3%)	10 (62,5%)	8 (50,0%)	3 (18,7%)	-	-	2 (12,5%)

1 – Disponibilidade hídrica menor do que a prevista para o cenário de referência.

Portanto, na gama de possíveis cenários aqui estudados, a probabilidade de que a disponibilidade hídrica média anual sofra uma redução da ordem de 3% a 1% é de apenas 12%. Ou seja, segundo indicado pelos resultados do presente estudo, há uma probabilidade muito maior de que as possíveis mudanças climáticas aumentem as quantidades de aportes superficiais aos mananciais.

No entanto, para uma análise numa escala mensal, uma quantidade maior de cenários climáticos indica uma redução de aportes nos meses menos chuvosos. Entre os meses de maio a setembro, aproximadamente 50% dos cenários indicam redução na disponibilidade hídrica durante estes meses, enquanto que todos os cenários climáticos indicam um acréscimo na disponibilidade hídrica para os outros meses. O mês para o qual uma redução nos aportes superficiais é mais provável é o mês de agosto.

Este aumento na diferença de aportes entre os meses menos chuvosos e mais chuvosos pode demandar investimentos no aumento da capacidade de regularização do sistema de mananciais, ou seja, um aumento na capacidade dos reservatórios existentes ou construção de novos reservatórios. Esta necessidade por um aumento na capacidade de regularização do sistema deve ser melhor estudada, considerando-se as projeções de aumento da população, e portanto da demanda, e a possibilidade de exploração de outros mananciais d'água, como os mananciais subterrâneos.

O modelo de fluxo, desenvolvido para os estudos do presente relatório, tem como objetivo avaliar os impactos sobre a capacidade do sistema de mananciais superficiais em suprir as demandas futuras, levando-se em consideração as variações climáticas no que diz respeito aos aportes superficiais e evaporação.

4. DEMANDAS

No presente estudo, as estimativas das demandas presente e futura foram feitas com base nas informações obtidas diretamente junto a SANEPAR, conforme apresentado na Tabela 4.1, e nas informações disponíveis nos seguintes relatórios, também fornecidos pela SANEPAR:

- *Diagnóstico preliminar dos mananciais atuais e futuros do sistema integrado de abastecimento de água da Região Metropolitana de Curitiba.* Sanepar/USHI, 2005.

- *Estudo Populacional e de Demanda. Estudo Populacional Geral e Diferenciado. Projeção do Consumo e Demanda Diferenciada.* Estudo Técnico Preliminar. Sistema de Abastecimento de Água Integrado. Curitiba e RMC – SAIC. Sanepar/PROENSI, Setembro/2011.

A Tabela 4.1 apresenta as informações fornecidas através de comunicações com a SANEPAR, as quais são referenciadas no decorrer do texto como SANEPAR (2012/2013).

Tabela 4.1: Informações obtidas junto a SANEPAR

Dados fornecidos	Data do envio
Relações cota-volume das Barragens Piraquara I e II, Passaúna e Iraí.	05/03/2012
Arquivo contendo os bairros e as respectivas captações que os abastecem.	01/08/2012
Arquivo População abastecida principal (dados de agosto 2011).	28/09/2012
Fornecimento das informações dos reservatórios da SANEPAR.	18/07/2012
Vazões mínimas de jusantes dos reservatórios, volumes mortos e respectivas cotas.	25/10/2012
Dados de população e demanda para 2013 e 2040	08/01/2013

4.1 Demanda Atual

A Tabela 4.2 lista a população atendida por cada ETA segundo dados fornecidos pela SANEPAR, assim como as estimativas de demanda diária por água, conforme SANEPAR (2012/2013).

Tabela 4.2: População e Demanda Atual

ETA / Sistema	População [(1)]	Economias residenciais (ud)	Demanda (10^6 x litros/dia)
Iguacu	738.324	234.388	175,1
Iraí / Iguaçu	584.135	185.440	161,5
Iraí	482.797	153.269	113,3
Rio Pequeno	52.358	16.621	12,4
Passaúna	551.640	175.124	135,7
Miringuava	398.976	126.659	89,4
Total	2.808.230[(2)]	891.501	687,3

1. *Fonte: SANEPAR, 2012/2013.*

A demanda normalmente é calculada da seguinte forma:

$$Demanda = \frac{pop}{npd} \times cpd \times (1 + perdas)$$

Na qual: *pop = população (número de habitantes);*
npd = taxa de ocupação por domicílio (habitantes por domicílio);
cdp = consumo por domicílio (litros/domicílio.dia);
perdas = perdas no sistema de distribuição.

Os valores indicados na Tabela 4.2 foram fornecidos diretamente pela SANEPAR (2012/2013).

4.2 Demanda Futura

O cálculo da demanda futura foi feito com base nos dados e parâmetros mencionados no item anterior (item 4.1) do presente relatório, e em projeções da taxa de crescimento da população. Considerou-se o ano de 2040 para a projeção da demanda futura. A demanda futura normalmente é calculada da seguinte forma:

$$Demanda = \frac{pop}{npd} \times cpd \times (1 + perdas) \times (1 + tc)^{N}$$

Na qual: *pop = população (número de habitantes);*
npd = taxa de ocupação por domicílio (habitantes por domicílio);
cdp = consumo por domicílio (litros/domicílio.dia);
perdas = perdas no sistema de distribuição;
tc = taxa de crescimento médio anual da população;
N = número de anos.

A Tabela 4.3 apresenta as projeções e estimativas da população e demanda futura. Estes valores foram fornecidos diretamente pela SANEPAR (2012/2013).

Tabela 4.3: População e Demanda Futura

ETA / Sistema	População	Economias residenciais (ud)	Demanda (10^6 x litros/dia)
Iguaçu	948.204	301.017	215,4
Iraí / Iguaçu	717.045	227.633	190,9
Iraí	681.899	216.476	147,1
Rio Pequeno	93.825	29.786	20,2
Passaúna	798.934	253.630	187,0
Miringuava	677.454	215.065	147,8
Total	**3.917.363**	**1.243.607**	**908,4**

Fonte: SANEPAR (2012/2013).

5. MODELO DE FLUXO

Um modelo de fluxo foi desenvolvido com o software HEC-ResSIM (HEC, 2007). Este modelo de fluxo simula a dinâmica dos mananciais superficiais levando-se em consideração as demandas por água, os diferentes regimes de vazões e as perdas por evaporação segundo os respectivos cenários climáticos aqui estudados. No presente estudo os mananciais superficiais referem-se aos reservatórios e cursos d'água aonde são feitas as captações d'água. A Figura 5.1 apresenta uma ilustração esquemática do modelo de fluxo. Nesta Figura estão indicados os reservatórios, as captações, as bacias hidrográficas contribuintes, os cursos d'água (flechas) e as junções entre os cursos d'água.

As bacias hidrográficas indicam as entradas de vazões, ou aportes, ao modelo de fluxo. Como mencionado anteriormente (item 3 do presente relatório) os aportes, para os cenários climáticos aqui estudados, foram derivados através de simulação com o modelo hidrológico calibrado HEC-HMS (Tomo I deste relatório).

Nas captações são especificadas as demandas segundo as estimativas apresentadas nas Tabelas 4.2 e 4.3. A Figura 5.2 ilustra, e a Tabela 5.2 lista, os bairros atendidos por cada ETA. Os dados apresentados na Figura 5.2 mostram que existem interseções entre os grupos de bairros atendidos por cada ETA. Estas interseções refletem a característica integrada do sistema de distribuição. A Figura 5.3 indica quais bairros são atendidos por mais de uma ETA. A maior parte dos bairros é atendida pelas ETAs Iguaçu e Iraí. Dos 75 bairros que fazem parte da municipalidade de Curitiba, 42 bairros, ou seja 56% deles, podem ser atendidos por 2 ou mais ETAs.

Os bairros atendidos pela ETA Iguaçu estão situados nas regiões Central e Leste da cidade. A ETA Iguaçu atende a até 53 bairros. Os bairros atendidos pela ETA Iraí estão situados na região Nordeste da cidade. A ETA Iraí atende a até 38 bairros. Os bairros atendidos pela ETA Passaúna estão situados nas regiões Oeste, Sudoeste e Sul da cidade. A ETA Passaúna atende a até 24 bairros. Os bairros atendidos pela ETA Miringuava estão situados na região Sul da cidade. A ETA Miringuava atende a até 5 bairros de Curitiba.

O modelo de fluxo é configurado de tal forma que este é capaz de gerenciar a alocação das demandas nos pontos de captação, a fim de garantir que o sistema como um todo tenha a sua demanda atendida. Por exemplo: numa situação em que uma determinada ETA possua uma quantidade de água insuficiente para atender a demanda total requerida, o modelo pode alocar parte desta demanda para outra ETA que possua uma quantidade maior d'água que a sua própria demanda total. Esta flexibilidade na alocação das demandas é, no entanto, limitada à capacidade de cada ETA, segundo dados fornecidos pela SANEPAR, e é limitada também a quantidade de domicílios que cada ETA pode atender, segundo dados listados nas Tabelas 4.2 e 4.3, dados estes também fornecidos pela SANEPAR (2012/2013).

A premissa do modelo de fluxo para a operação dos reservatórios é o da operação por conservação. Ou seja, somente liberar vazões para atender as demandas nas captações de jusante e para manter uma vazão mínima, ou vazão ecológica, nos cursos d'água de jusante. A operação por conservação tem como objetivos: atender as demandas sobre os reservatórios e manter os níveis dos reservatórios, a maior parte do tempo possível, próximo da cota de operação máxima. Caso um hidrograma de cheia chegue no reservatório quando este está em seu nível máximo, as cheias, então laminadas, são vertidas de forma que o reservatório sempre mantenha seu nível de operação máxima.

O modelo de fluxo opera o sistema de reservatórios de forma que as descargas provenientes dos reservatórios sejam suficientes somente para complementar as vazões não regularizadas que passam pelas captações em determinado momento, e com isto atender a demanda por água e vazão ecológica específica para aquele trecho do curso d'água aonde se encontra a captação. Ou seja, em cada ponto de captação haverá uma parcela da vazão que corresponde aos escoamentos naturais no curso d'água, ou não regularizados, e uma parcela dos escoamentos que corresponde às vazões regularizadas pelos reservatórios. A Tabela 5.1 apresenta as vazões mínimas a serem liberadas constantemente pelos reservatórios de forma a atender os critérios de vazão ecológica nos cursos d'água a jusante das represas.

As perdas por evaporação também são levadas em consideração nas simulações de operação do sistema com o modelo de fluxo.

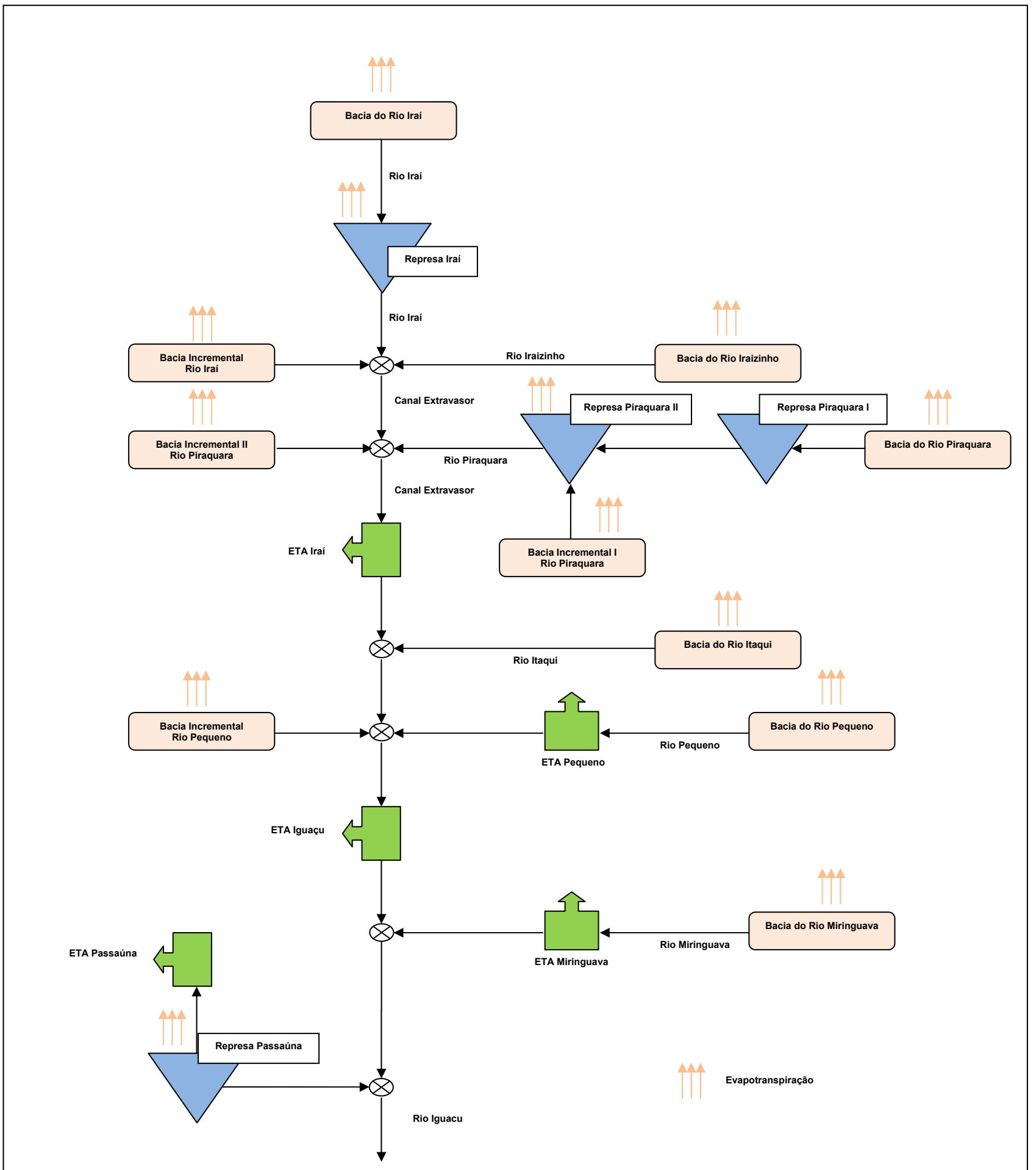

Figura 5.1: Modelo de Fluxo - Representação Esquemática do Sistema de Mananciais Superficiais da RMC *(Fonte: SANEPAR, 2012)*

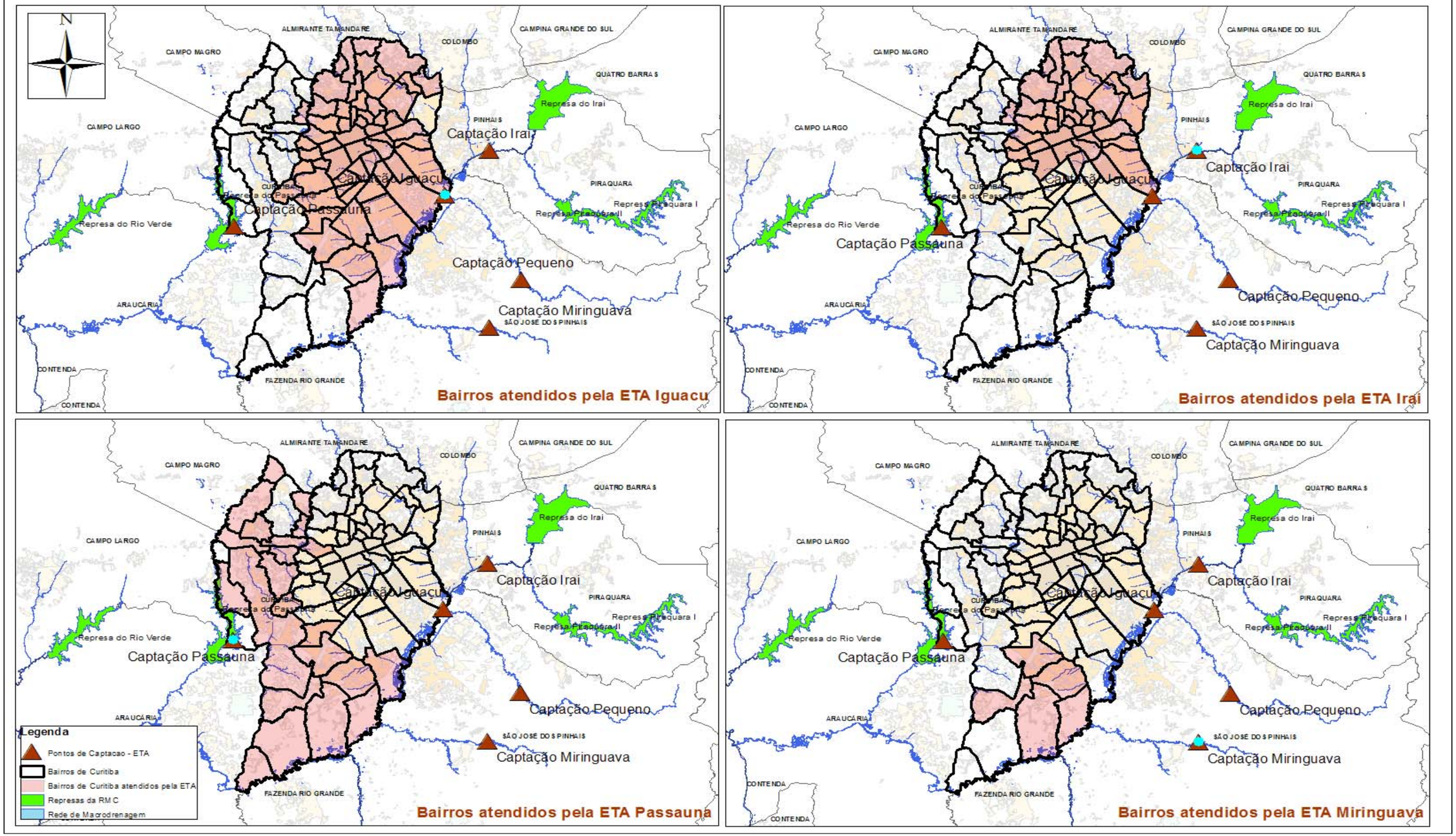

Figura 5.2: Bairros de Curitiba atendidos pelas Estações de Tratamento de Águas (ETA).

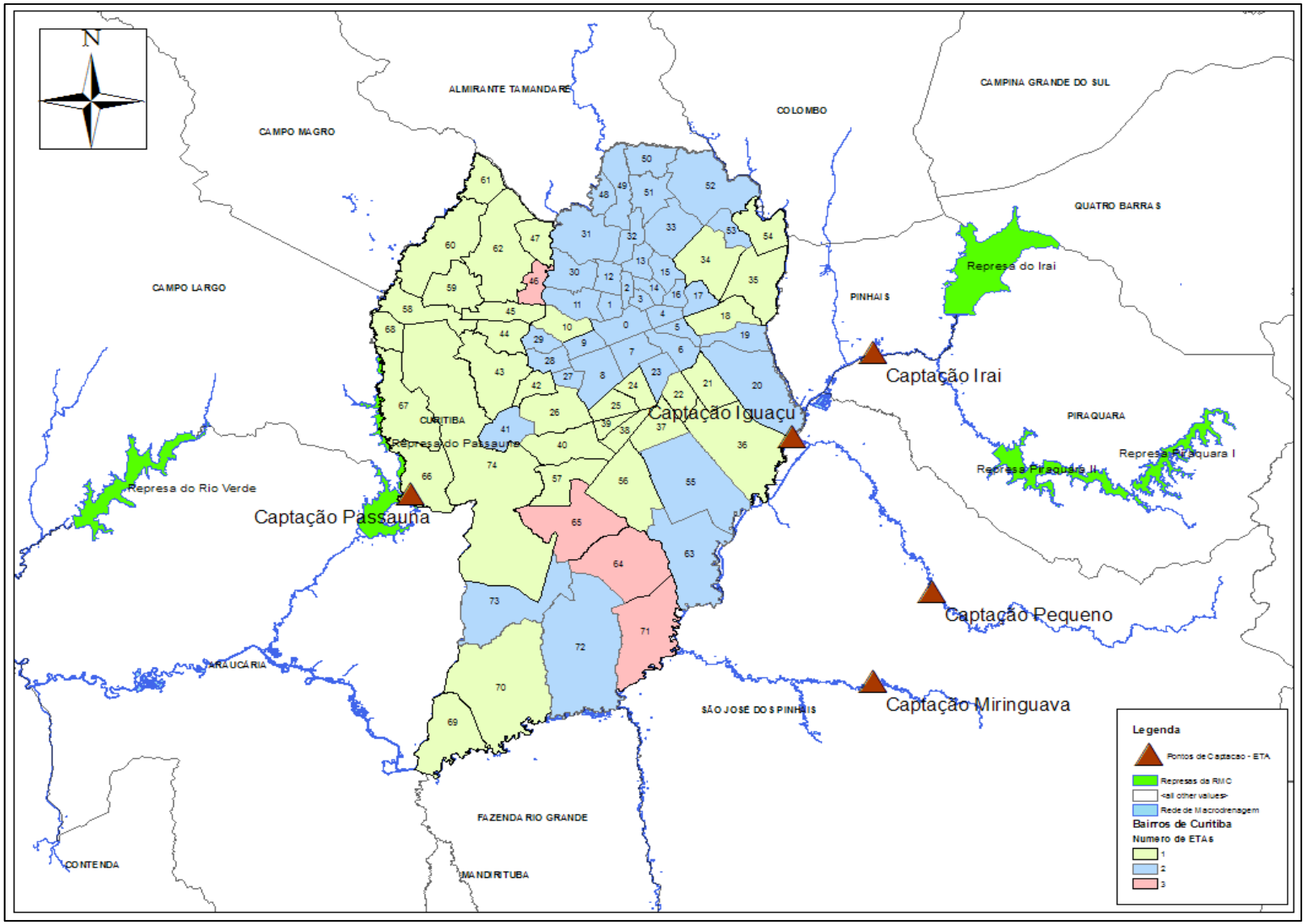

Figura 5.3: Quantidade de Estações de Tratamento de Água (ETA) que atendem cada bairro.

Tabela 5.1: Vazões mínimas a serem mantidas a jusante dos reservatórios

Reservatório	Vazão Mínima (litros/s)
Iraí	372,3
Piraquara I	89,0
Piraquara II	230,0
Passaúna	500,0

Fonte: SANEPAR, 2012

Tabela 5.2: Bairros de Curitiba atendidos pelas Estações de Tratamento de Águas (ETA).

Código	Bairros de Curitiba	ETA			
		Iguaçu	Passaúna	Iraí	Miringuava
1	Centro	■		■	
2	São Francisco	■		■	
3	Centro Cívico	■		■	
4	Alto da Glória	■		■	
5	Alto da Rua XV	■		■	
6	Cristo Rei	■		■	
7	Jardim Botânico	■		■	
8	Rebouças	■		■	
9	Água Verde	■		■	
10	Batel	■		■	
11	Bigorrilho		■		
12	Mercês	■		■	
13	Bom Retiro	■		■	
14	Ahú	■		■	
15	Juvevê	■		■	
16	Cabral	■		■	
17	Hugo Lange	■		■	
18	Jardim Social	■		■	
19	Tarumã			■	
20	Capão da Imbuia	■		■	
21	Cajuru	■		■	
22	Jardim das Américas	■			
23	Guabirotuba	■			
24	Prado Velho	■		■	
25	Parolin	■			
26	Guaíra	■			
27	Portão	■			
28	Vila Izabel	■		■	
29	Seminário	■		■	
30	Campina do Siqueira	■		■	
31	Vista Alegre	■		■	
32	Pilarzinho	■		■	
33	São Lourenço	■		■	
34	Boa Vista	■		■	
35	Bacacheri			■	
36	Bairro Alto			■	
37	Uberaba	■			
38	Hauer	■			
39	Fanny	■			
40	Lindóia	■			
41	Novo Mundo	■			
42	Fazendinha	■	■		
43	Santa Quitéria	■			

Fonte: SANEPAR (2012/2013).
(■) indica quais ETAs abastecem determinado bairro.

Tabela 5.2: Bairros de Curitiba atendidos pelas Estações de Tratamento de Águas (ETA), continuação.

Código	Bairros de Curitiba	ETA			
		Iguaçu	Passaúna	Iraí	Miringuava
44	Campo Comprido		■		
45	Mossunguê		■		
46	Santo Inácio		■		
47	Cascatinha	■	■	■	
48	São João		■		
49	Taboão	■		■	
50	Abranches	■		■	
51	Cachoeira	■		■	
52	Barreirinha	■		■	
53	Santa Cândida	■		■	
54	Tingui	■		■	
55	Atuba			■	
56	Boqueirão	■	■		
57	Xaxim	■			
58	Capão Raso	■			
59	Orleans		■		
60	São Braz		■		
61	Butiatuvinha		■		
62	Lamenha Pequena		■		
63	Santa Felicidade		■		
64	Alto Boqueirão	■	■		
65	Sitio Cercado	■	■		■
66	Pinheirinho	■	■		■
67	São Miguel*				
68	Augusta		■		
69	Riviera		■		
70	Caximba		■		
71	Campo de Santana		■		
72	Ganchinho	■	■		■
73	Umbará		■		■
74	Tatuquara		■		■
75	Cidade Industrial		■		
	Número de Bairros atendidos por cada ETA	**53**	**24**	**38**	**5**

Fonte: SANEPAR (2012/2013).
(■) Indica quais ETAs abastecem determinado bairro.
* Este bairro não se encontra na lista de bairros abastecidos por estas ETAs.

6. DISPONIBILIDADES VERSUS DEMANDAS

No presente estudo, o modelo de fluxo foi utilizado para a caracterização da operação atual do sistema de mananciais, assim como para uma avaliação dos impactos dos cenários futuros de mudanças climáticas e projeções de crescimento da demanda sobre o sistema de mananciais. O modelo de fluxo leva em consideração os aportes dos rios que alimentam os mananciais, as perdas por evaporação nos reservatórios e as retiradas devido às demandas nos pontos de captação.

Dezoito (18) cenários foram considerados no estudo de impacto das demandas e das variações climáticas sobre o sistema de mananciais. A composição de cada um destes cenários é baseada numa combinação entre diferentes cenários climáticos futuros em termos de precipitação, temperatura e evapotranspiração, e em diferentes cenários de demanda (atual e futura). Estes cenários estão relacionados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Cenários de operação do sistema de mananciais

Cenário	Composição do Cenário		
	Clima Precipitação	Clima Temperatura Evapotranspiração	Demanda
CR Demanda Atual	Clima atual	Temperatura Atual	Demanda Atual
CR Demanda Futura	Clima atual	Temperatura Atual	Demanda Futura
GCMA1B+1	GCMA1B	Temperatura Atual +1ºC	Demanda Futura
GCMA2+1	GCMA2	Temperatura Atual +1ºC	Demanda Futura
HADA2+1	HADA2	Temperatura Atual +1ºC	Demanda Futura
HADB2+1	HADB2	Temperatura Atual +1ºC	Demanda Futura
GCMA1B+2	GCMA1B	Temperatura Atual +2ºC	Demanda Futura
GCMA2+2	GCMA2	Temperatura Atual +2ºC	Demanda Futura
HADA2+2	HADA2	Temperatura Atual +2ºC	Demanda Futura
HADB2+2	HADB2	Temperatura Atual +2ºC	Demanda Futura
GCMA1B+3	GCMA1B	Temperatura Atual +3ºC	Demanda Futura
GCMA2+3	GCMA2	Temperatura Atual +3ºC	Demanda Futura
HADA2+3	HADA2	Temperatura Atual +3ºC	Demanda Futura
HADB2+3	HADB2	Temperatura Atual +3ºC	Demanda Futura
GCMA1B+4	GCMA1B	Temperatura Atual +4ºC	Demanda Futura
GCMA2+4	GCMA2	Temperatura Atual +4ºC	Demanda Futura
HADA2+4	HADA2	Temperatura Atual +4ºC	Demanda Futura
HADB2+4	HADB2	Temperatura Atual +4ºC	Demanda Futura

6.1 Operação do Sistema – Clima e Demanda Atuais

O modelo de fluxo foi utilizado para a caracterização da operação atual do sistema de mananciais. Esta caracterização foi realizada com séries de vazões diárias produzidas pelo modelo hidrológico HEC-HMS para o período entre os anos de 1961 e 1990, considerando-se as estimativas de demanda para o ano 2011, conforme informado pela SANEPAR. O período entre os anos de 1961 e 1990 corresponde ao Cenário de Referência, ou seja, o cenário que corresponde ao clima atual.

A Tabela 6.2 apresenta, para cada cenário operacional estudado, o percentual de tempo em que o sistema de falha em atender completamente as demandas alocadas nas captações, segundo os resultados de simulações com o modelo de fluxo. Dos resultados apresentados nesta tabela, verifica-se que o sistema atual (padrão climático e demandas atuais) é capaz de responder as demandas praticamente sem nenhuma falha no abastecimento.

As simulações com o modelo de fluxo indicam que para todos os outros cenários climáticos estudados haverá falhas no abastecimento. No entanto, a causa principal do estresse hídrico sobre o sistema é a projeção de aumento da demanda, como indicado na Tabela 6.2.

6.2 Operação do Sistema – Clima Atual e Demanda Futura

A Tabela 6.1 indica dois (2) cenários para o clima atual e dezesseis (16) cenários para o clima futuro. Visto que os impactos sobre o sistema de mananciais são devidos a uma combinação do aumento da demanda e variação dos padrões climáticos, faz-se necessário avaliar separadamente os impactos que cada componente, demanda ou variação climática, exerce sobre o sistema de mananciais. Decidiu-se, portanto, simular dois cenários com clima atual variando-se somente a demanda: atual e futura.

Os resultados do modelo de fluxo indicam que, para o sistema atual de mananciais, um aumento da demanda, segundo projeções da SANEPAR, resultaria em falhas no abastecimento da ordem de 25,8% do tempo para o ano de 2040.

A Figura 6.1 apresenta curvas de permanência para o volume total armazenado no sistema de reservatórios. Para o Cenário de Referência (clima atual com demanda atual) verifica-se que o sistema opera próximo da reserva máxima em 30% do tempo. Para uma demanda futura, em 2040, o sistema operaria 20% do tempo a pelo menos metade de sua capacidade.

6.3 Operação do Sistema – Clima Atual e Demanda Futura

Conclui-se, dos resultados apresentados na Tabela 6.2 e Figuras 6.2 e 6.3, que a maior causa do estresse hídrico no sistema de mananciais é devido a projeção de aumento da demanda. A maioria dos cenários climáticos estudados indica um benefício, ou atenuação, do estresse hídrico causado pelo acréscimo de demanda, visto que estes cenários climáticos prevêem um aumento na disponibilidade hídrica para o sistema de mananciais, devido a um aumento na quantidade e frequência das precipitações.

Como mostrado na Tabela 6.2, apenas dois (4) cenários climáticos futuros indicam um aumento no estresse hídrico comparativamente ao cenário Clima Atual com Demanda futura. Todos os outros doze (12) cenários climáticos indicam um benefício, ou atenuação ao estresse hídrico, em vista dos impactos causados somente pela projeção de aumento da

demanda. Portanto, a probabilidade de que os cenários climáticos futuros causem um agravamento do estresso hídrico seria de 25%.

Os resultados detalhados, em forma de gráficos, das simulações com o modelo de fluxo para cada cenário operacional encontram-se no Anexo II. Os resultados em formato numérico encontram-se nos arquivos Excel fornecidos junto com o relatório.

Tabela 6.2: Falhas no abastecimento d'água, percentual do tempo

Cenário	Percentual do tempo em que ocorrem falhas no abastecimento	
	Falhas causadas por ambos Demanda e Mudanças Climáticas (%)	***Falhas causadas somente por Mudanças Climáticas***
Cenário de Referência - Demanda Atual	1,0	-
Cenário de Referência - Demanda Futura (2040)	25,8	-
GCMA1B+1	23,4	-
GCMA2+1	19,0	-
HADA2+1	6,5	-
HADB2+1	9,9	-
GCMA1B+2	26,2	0,4
GCMA2+2	22,1	-
HADA2+2	7,9	-
HADB2+2	12,3	-
GCMA1B+3	29,6	3,8
GCMA2+3	25,2	-
HADA2+3	9,9	-
HADB2+3	14,6	-
GCMA1B+4	33,2	7,4
GCMA2+4	29,1	3,3
HADA2+4	12,5	-
HADB2+4	17,6	-

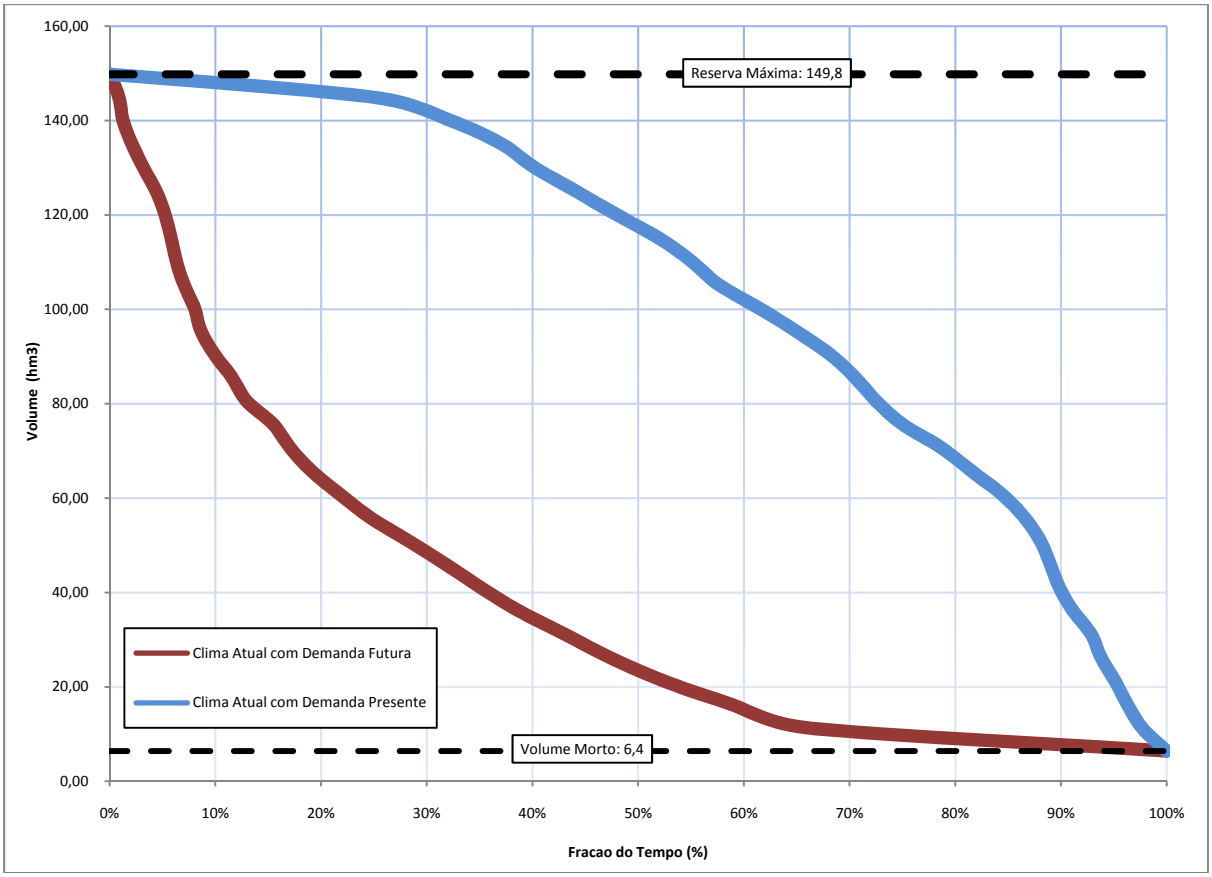

Figura 6.1: Curva de Permanência – Volumes no Sistema de Reservatórios. Comparação entre os cenários de referência Demanda Futura e Demanda Presente

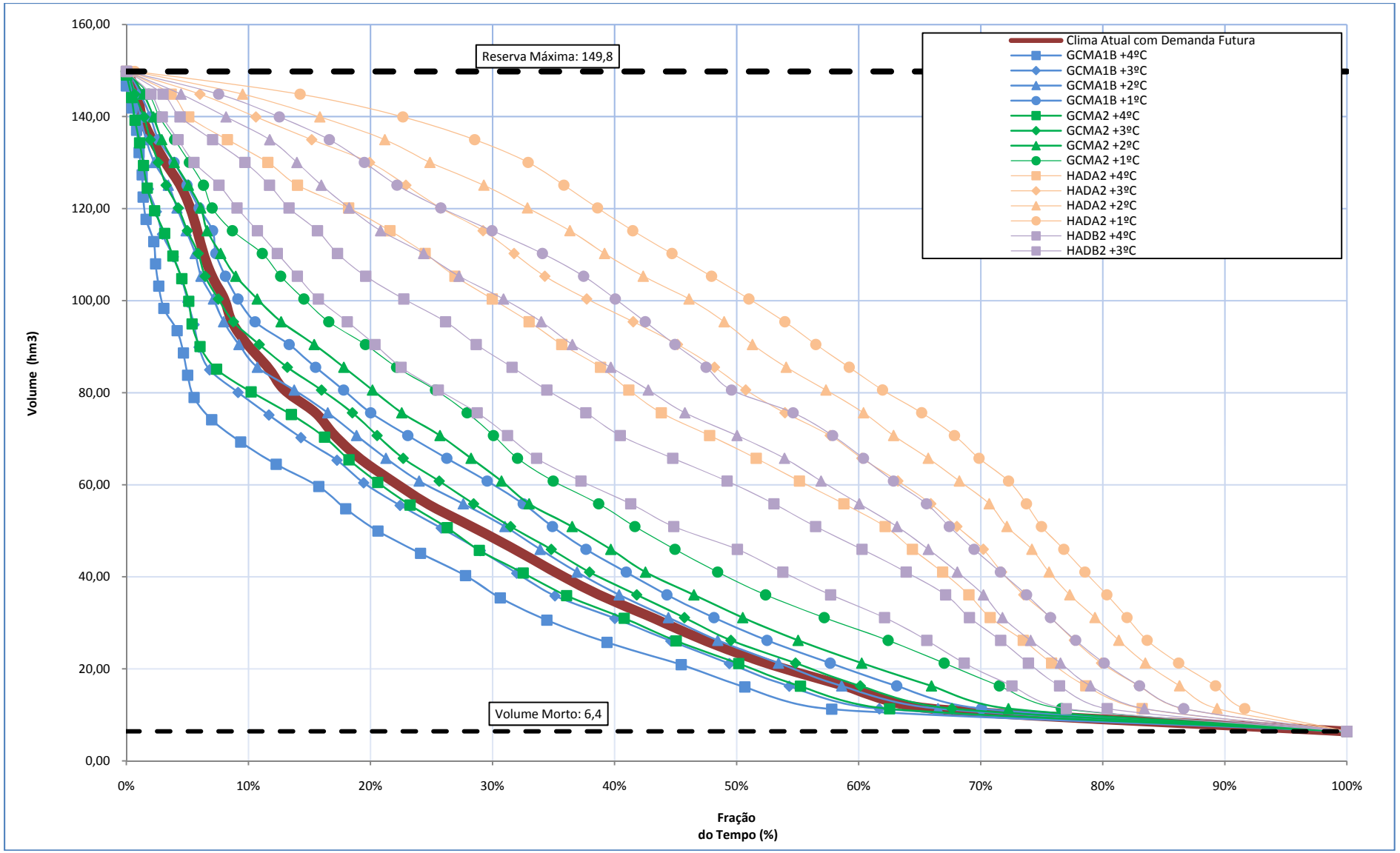

Figura 6.2: Curvas de Permanência – Volume Total no Sistema de Reservatórios, comparação entre os Cenários Climáticos

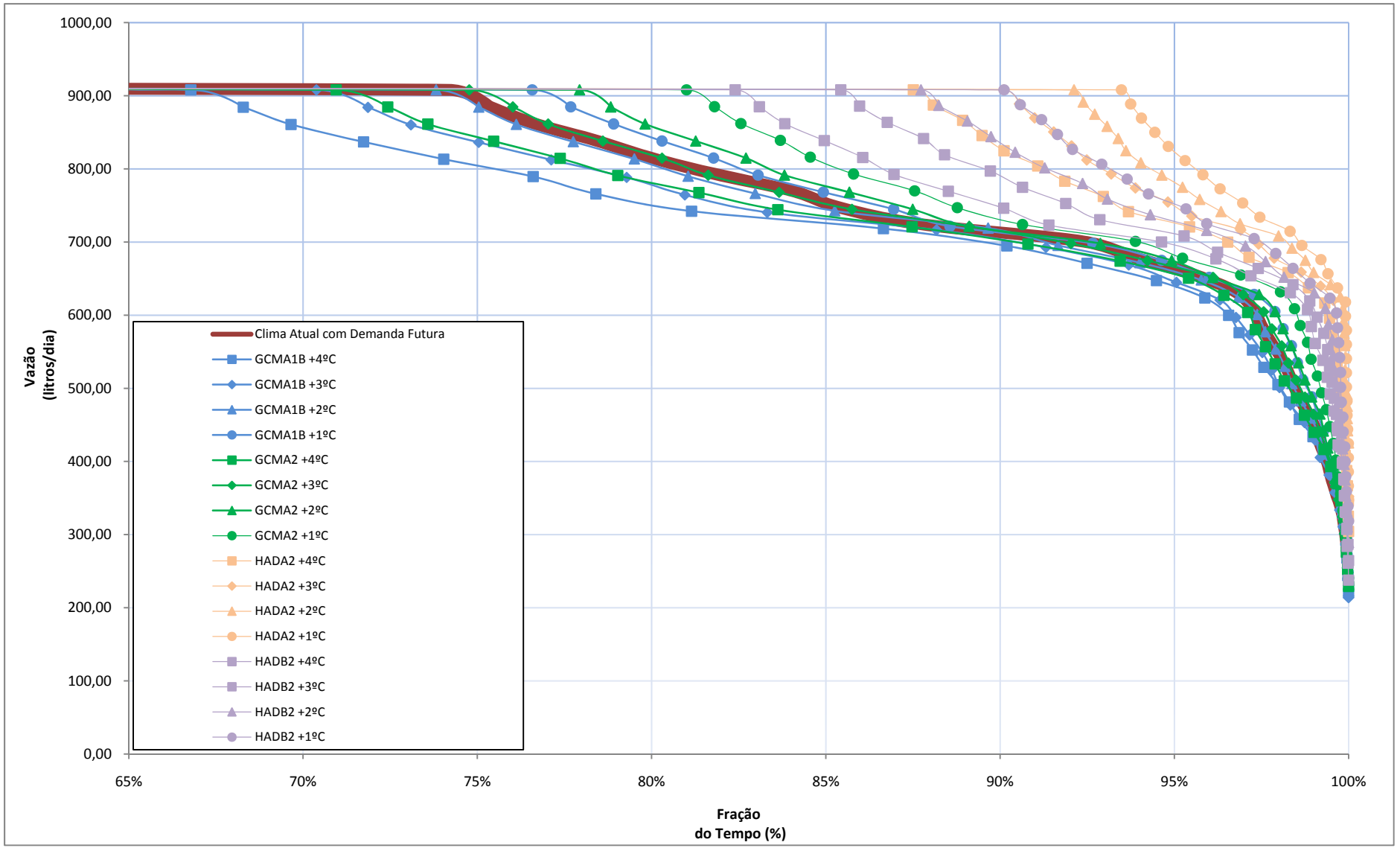

Figura 6.3: Curvas de Permanência – Percentual de Demanda Futura Atendida, comparação entre os Cenários Climáticos.

7. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

O objetivo do presente estudo é o da avaliação dos impactos de cenários de mudanças climáticas sobre os mananciais superficiais. Esta avaliação foi feita através da comparação das condições operacionais do sistema de mananciais segundo os padrões climáticos atuais e futuros. Para tal avaliação foi desenvolvido um modelo de fluxo com o software HEC-ResSIM (HEC, 2007). Este modelo simula a dinâmica dos mananciais superficiais levando-se em consideração as demandas por água e os diferentes regimes de aportes superficiais e perdas por evaporação segundo os respectivos cenários climáticos aqui estudados. As disponibilidades hídricas foram simuladas com o auxilio do modelo hidrológico HEC-HMS, calibrado para os estudos explanados no Tomo I deste relatório.

Os municípios de Curitiba e RMC são abastecidos pelas vazões regularizadas das Represas Iraí, Passaúna, Piraquara I e Piraquara II, e pelas vazões não regularizadas captadas diretamente dos rios Miringuava, Pequeno, Itaqui e Iraizinho. O sistema de distribuição da SANEPAR é um sistema integrado, e portanto é capaz de gerenciar de maneira eficaz as disponibilidades hídricas dos diversos mananciais superficiais. Desta forma, uma parcela significativa das águas captadas são oriundas de vazões não regularizadas.

Os estudos apresentados neste documento indicam que o sistema de produção, reservatórios e captações, é capaz de prover as demandas atuais praticamente sem nenhuma falha. Para os cenários futuros, onde se espera um aumento na demanda assim como variações nos padrões climatológicos, este último interferindo na disponibilidade hídrica superficial, as simulações acusam falhas no atendimento a demanda para todos os cenários estudados. As falhas devido à demanda ser superior à capacidade do sistema de produção. Em outras palavras, em alguns momentos a demanda por água será maior do que a capacidade de regularização dos reservatórios, mesmo levando-se em consideração a capacidade do sistema integrado de distribuição em compensar os níveis baixos de um determinado reservatório com águas provenientes de um outro reservatório ou com águas provenientes de cursos d'água naturais.

Esta situação em que a demanda por água acaba sendo superior a capacidade de oferta de um corpo hídrico, ou sistema de mananciais, é denominada de estresse hídrico. Cada cenário futuro aqui estudado indica um nível de estresse hídrico. No presente estudo, o nível de estresse hídrico é indicado pelo percentual do tempo em que ocorrem falhas no abastecimento do sistema. Os resultados do presente estudo indicam a necessidade de investimento no aumento da capacidade do sistema de produção.

Visto que o estresse hídrico é determinado através de uma combinação de efeitos da variabilidade da disponibilidade hídrica e da demanda sobre os mananciais superficiais, faz-se necessário desenvolver cenários que possam distinguir os efeitos de cada elemento sobre os estresses hídricos. Primeiramente foram estudados dois cenários com padrões climáticos atuais onde somente a demanda varia: atual e futura. Os demais cenários climáticos futuros levam em consideração a variabilidade da disponibilidade hídrica assim como a projeção futura da demanda.

A comparação dos resultados destes dois cenários com os resultados dos demais cenários climáticos futuros indicam que a causa principal do estresse hídrico sobre o sistema de mananciais é causada pelo aumento da demanda. A maioria dos cenários climáticos futuros, no entanto, indicam um acréscimo na disponibilidade hídrica média anual, atenuando, portanto, os efeitos de um aumento da demanda sobre os mananciais. Esta atenuação pode ser avaliada a partir dos resultados apresentados nas curvas de permanência das Figuras 6.2 e 6.3 para cada cenário climático estudado e dos dados da

Tabela 6.2. 75% dos cenarios climaticos aqui estudados indicam uma atenuacao a potencial situacao de estresse hidrico. Os cenários simulados com o modelo HadRM3P indicam, em média, uma atenuação de aproximadamente 50% no número de falhas de abastecimento do sistema que seria esperado em relação aos padrões climáticos atuais. Alguns cenários simulados com o modelo CGCM3 indicam uma atenuação no número de falhas no abastecimento, enquanto outros indicam um agravamento da situação de estresse hídrico.

No entanto, estes mesmos cenários climáticos indicam um aumento na variabilidade sazonal da disponibilidade hídrica, ou seja, no futuro, com relação aos padrões climáticos atuais, menos chuvas durante os meses menos chuvosos e mais chuvas durante os meses mais chuvosos. Este aumento na diferença de disponibilidade hídrica entre os meses mais chuvosos e menos chuvosos implica também numa maior necessidade de regularização de vazões, ou seja, de aumento da capacidade de reserva do sistema.

Desta forma, planos futuros para o aumento da capacidade do sistema de produção devem levar em conta principalmente as projeções de aumento da demanda, mas também levar em consideração o aumento na diferença de disponibilidade hídrica entre os meses mais chuvosos e menos chuvosos em vista das perspectivas das mudanças climáticas, o que irá requerer ainda mais investimentos na capacidade de regularização do sistema.

Vale mencionar que, conforme informação disponibilizada pela SANEPAR (2012/2013), a mesma já possui um cronograma de implantação de obras para aumento de produção de água para o SAIC. No entanto, no presente estudo, não se considerou a expansão do sistema, uma vez que os dados referentes às obras a serem implementadas não foram disponibilizados.

REFERÊNCIAS

CHANG, J.H. *Climate and Agriculture: An Ecological Survey.* Chicago: Aldine. 1968.

Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI). *ArcView GIS.* United States of America, 2011.

Hydrologic Engineering Center. *Hydrologic Modelling System HEC-HMS Technical Reference Manual,* U.S. Army Corps of Engineers. 2000.

Hydrologic Engineering Center. *Hydrologic Modelling System HEC-HMS. User's Manual, Version 3.5.0,* U.S. Army Corps of Engineers. 2010.

Hydrologic Engineering Center. *Reservoir System Simulation HEC-ResSIM User's Manual,* U.S. Army Corps of Engineers. 2007.

INSTITUTO DE ÁGUAS DO PARANÁ. *Mapas e Dados Espaciais. Disponível em; http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=78.* Área de Tecnologia da Informação e Geoprocessamento – ATIG. Acesso em Fevereiro de 2012.

KOBIYAMA, M.; VESTENA, L. R.. *Aplicação do Método de PENMAN Modificado no Cálculo da Evapotranspiração Potencial para Quatro Estações Meteorológicas do Estado do Paraná*. Revista Ciências Exatas e Naturais, vol. 8, n.º 1, Jan/Jun 2006.

MULLER, I. I. *Métodos de Avaliação da Evaporação e Evapotranspiração – Análise Comparativa para o Estado do Paraná.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1995.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. *Diagnóstico Preliminar dos Mananciais Atuais e Futuros do Sistema Integrado de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Curitiba.* Sanepar/USHI, 2005, 54p.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. *Estudo Populacional e de Demanda. Estudo Populacional Geral e Diferenciado. Projeção do Consumo e Demanda Diferenciada.* Estudo Técnico Preliminar. Sistema de Abastecimento de Água Integrado. Curitiba e RMC – SAIC. Sanepar/PROENSI, Setembro/2011, 90p.

ANEXO I

DADOS DAS REPRESAS

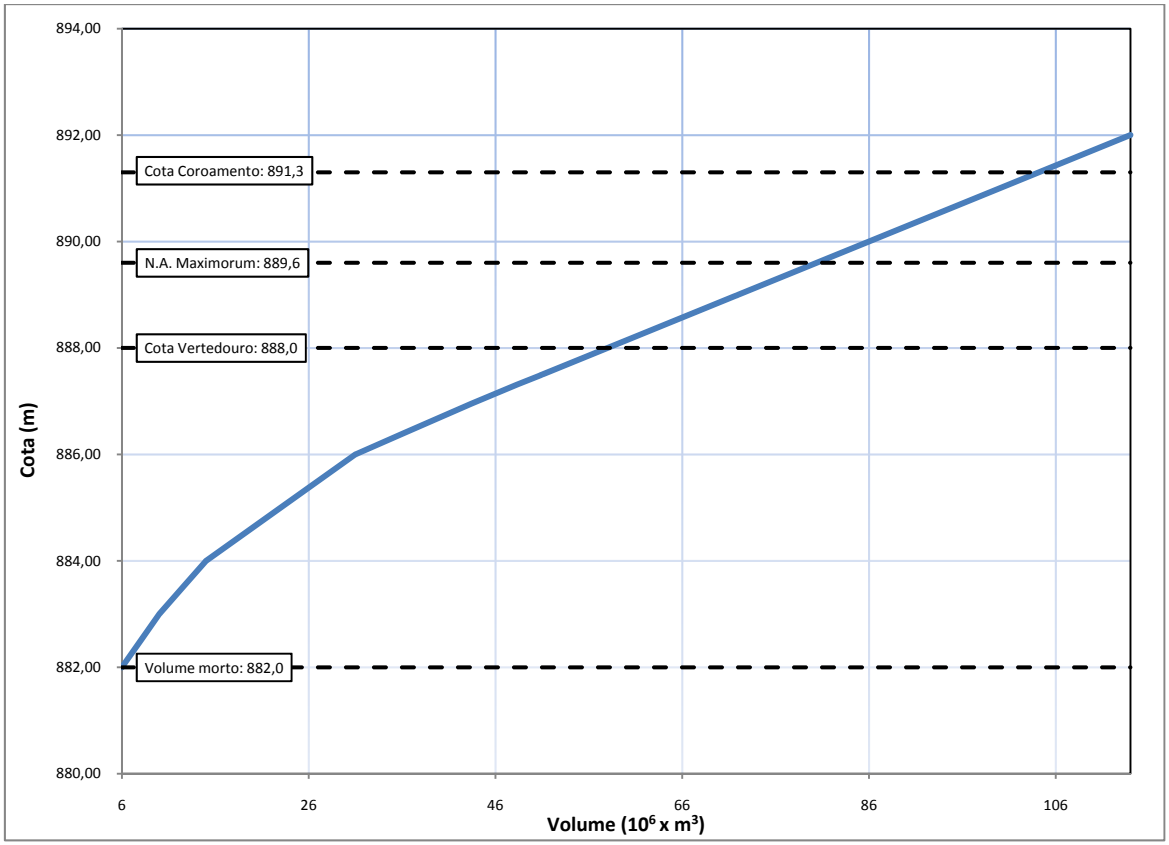

Figura I.1 – Represa Iraí – Curva Cota-Volume

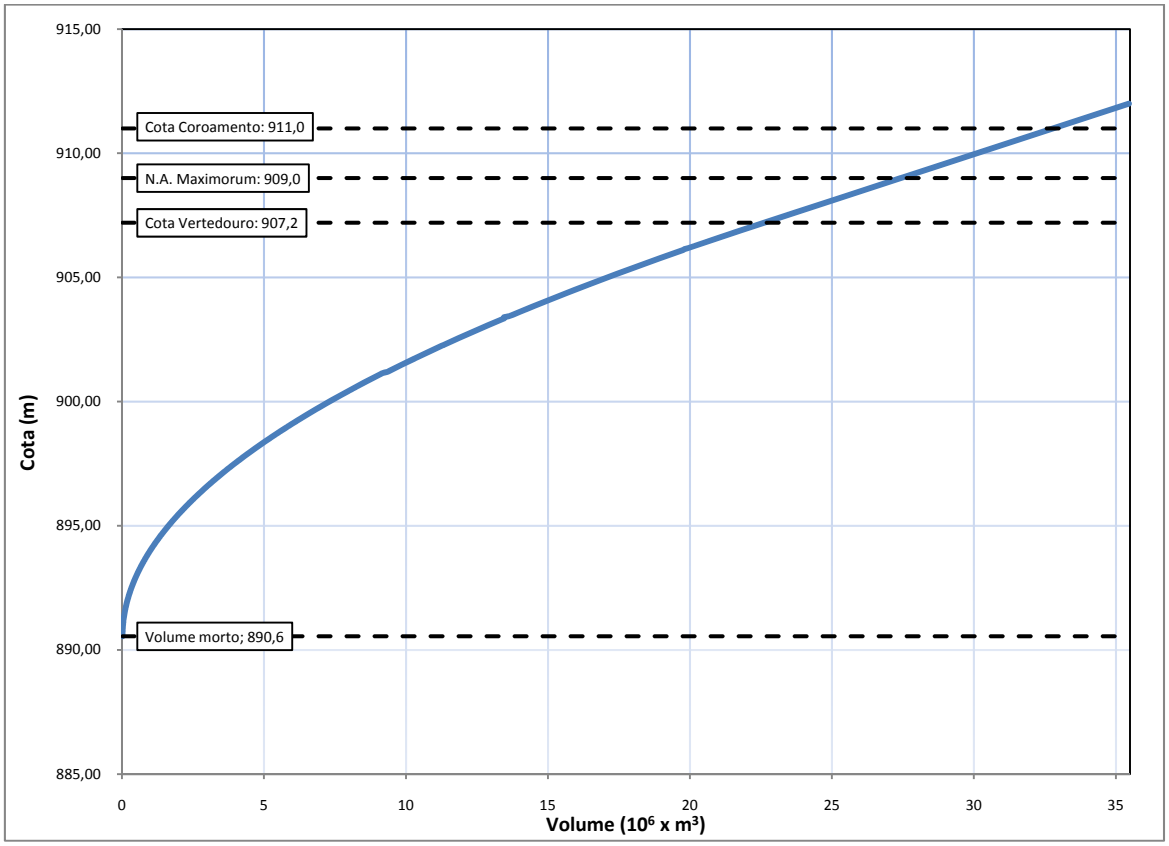

Figura I.2 – Represa Piraquara I – Curva Cota-Volume

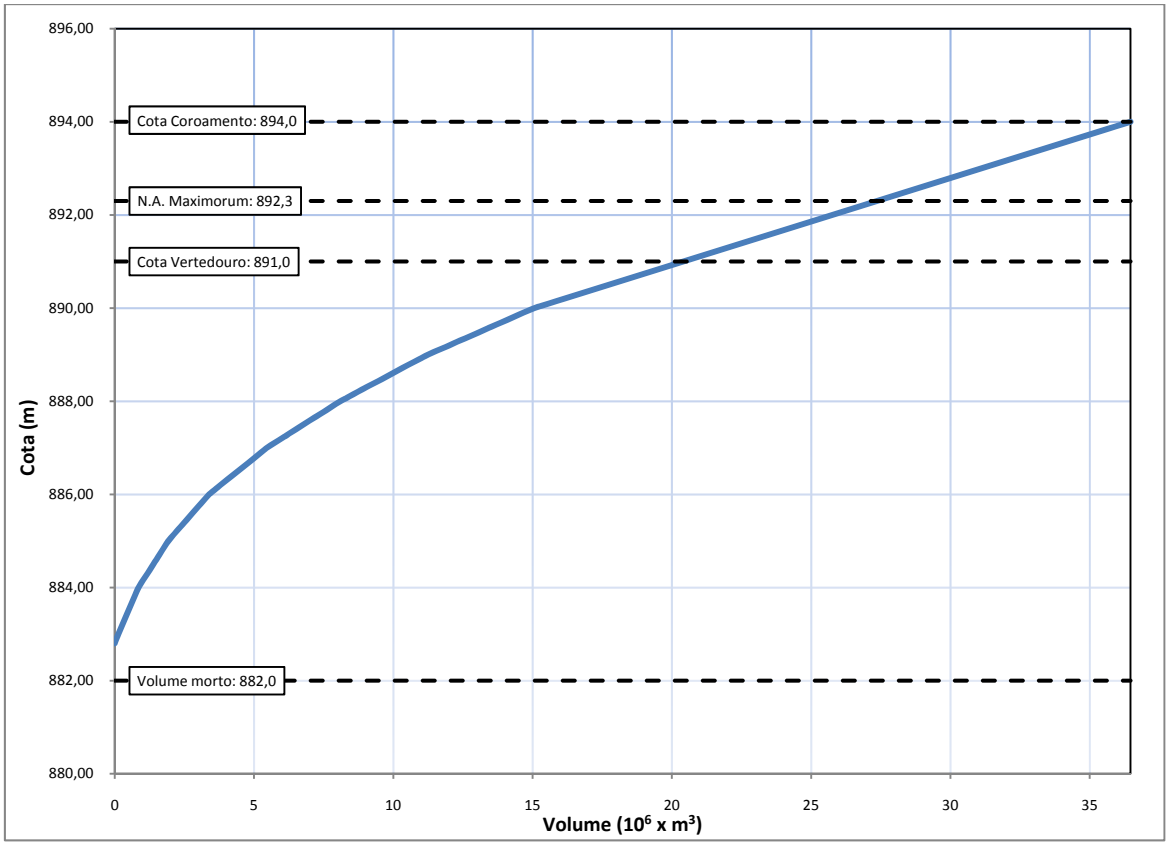

Figura I.3 – Represa Piraquara II – Curva Cota-Volume

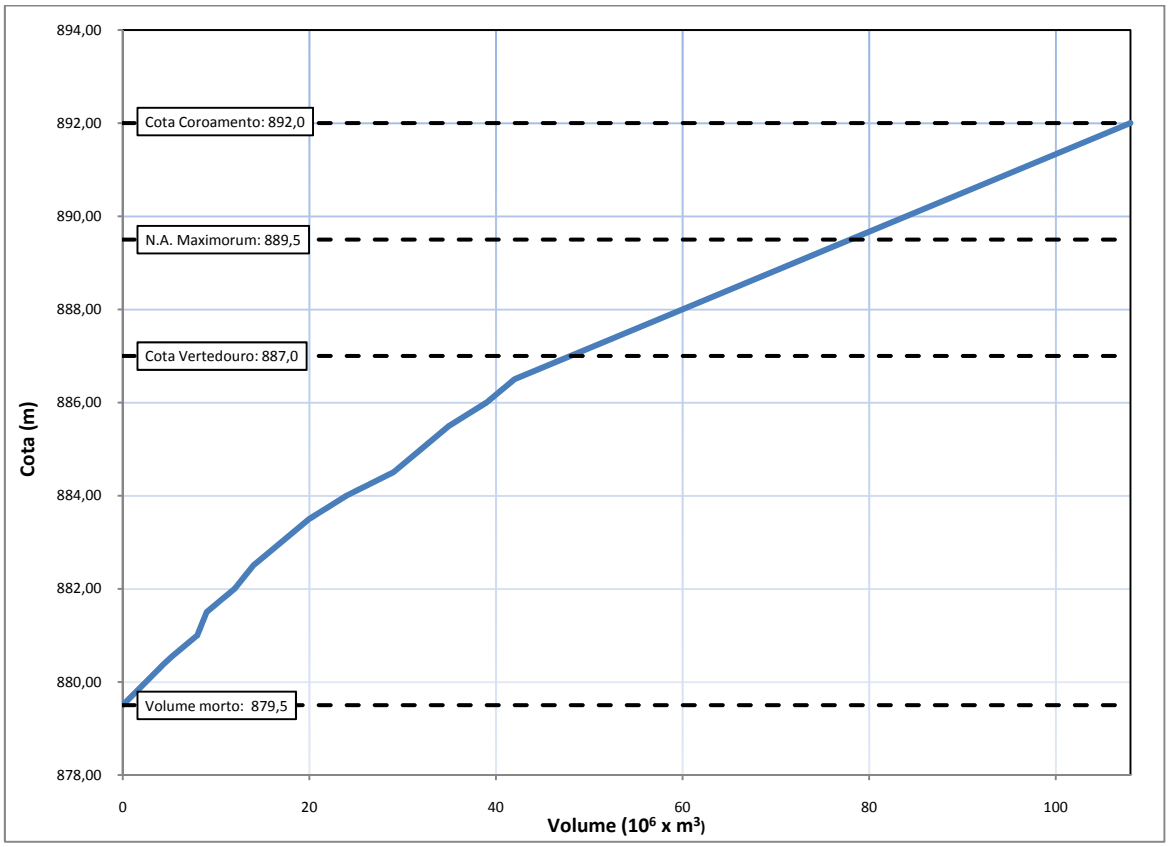

Figura I.4 – Represa Passaúna – Curva Cota-Volume

ANEXO II

RESULTADOS DO MODELO DE FLUXO

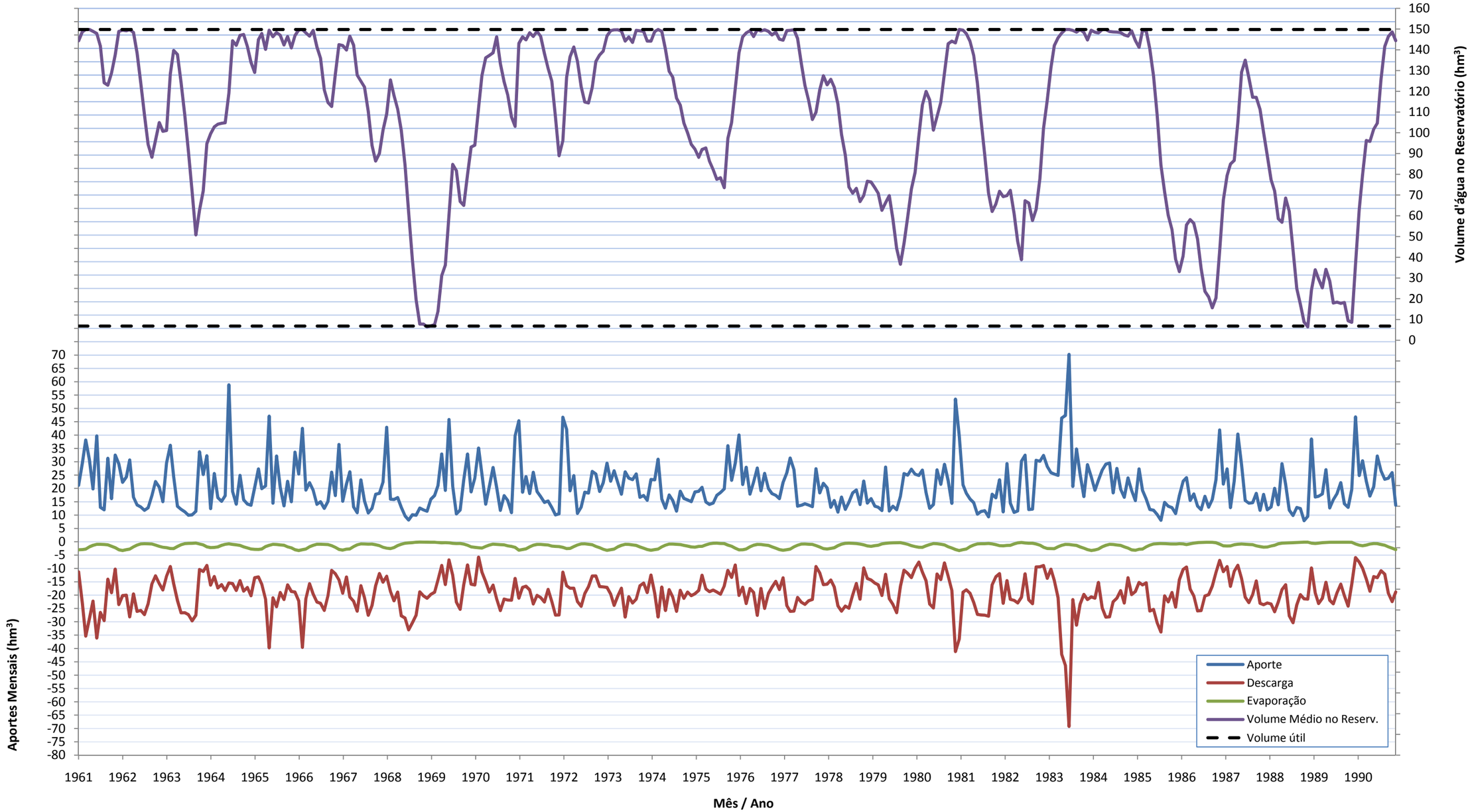

Figura II.1: Cenário de Referência – Clima e Demanda Atuais – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.

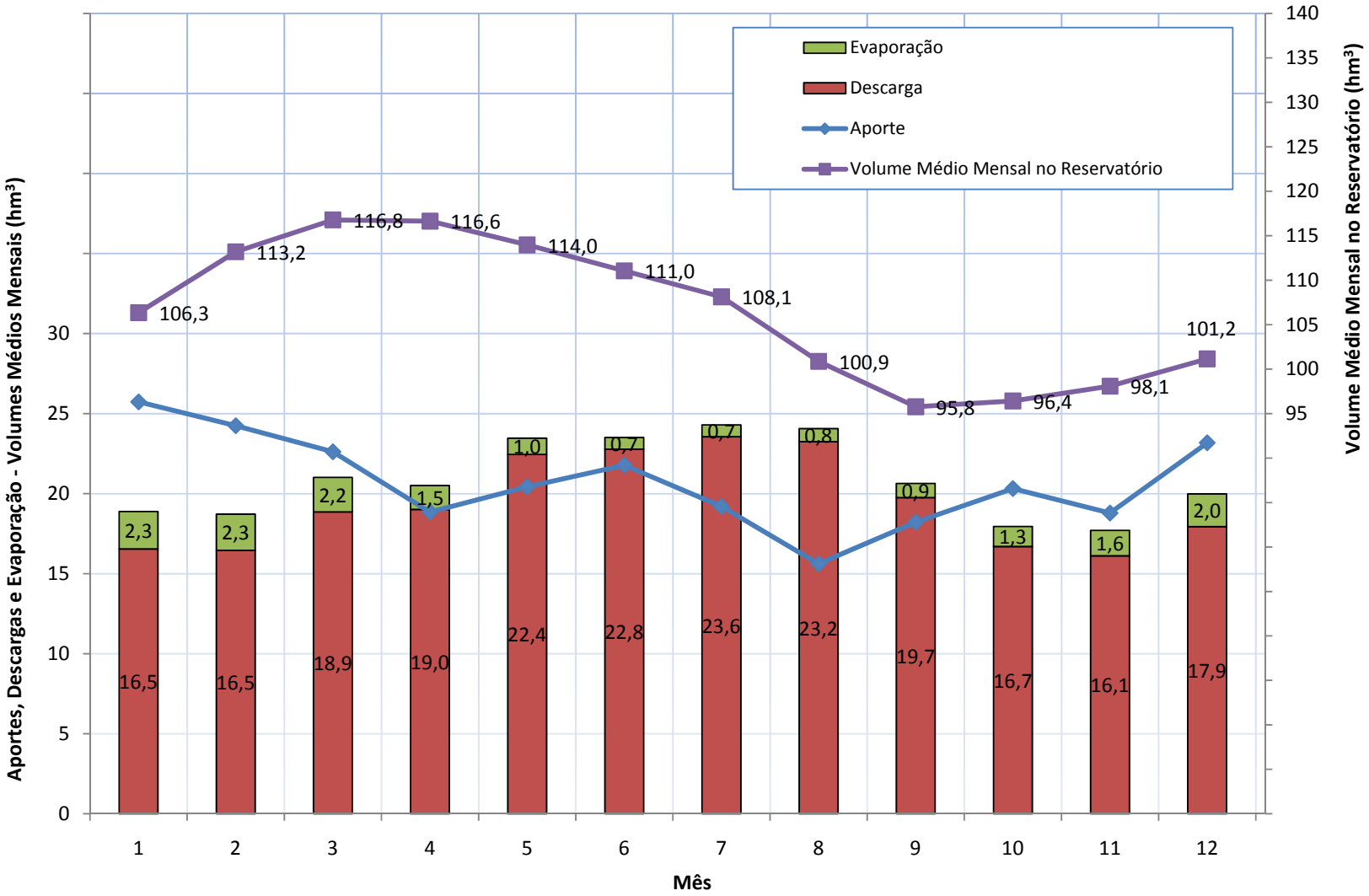

Figura II.2: **Cenário de Referência – Clima e Demanda Atuais – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes médios mensais no sistema de reservatórios.**

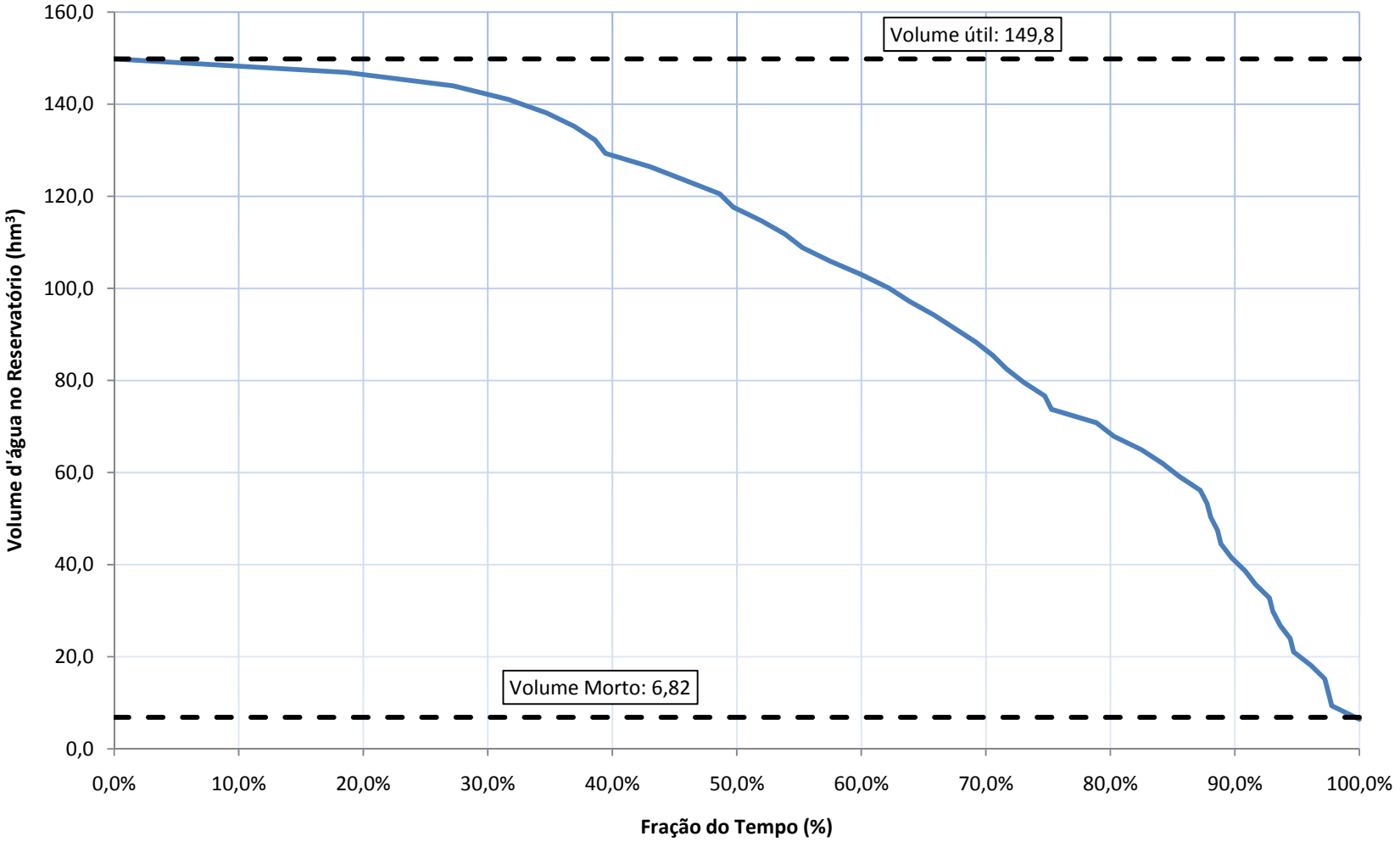

Figura II.3: **Cenário de Referência – Clima e Demanda Atuais – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanencia de volumes no sistema de reservatórios.**

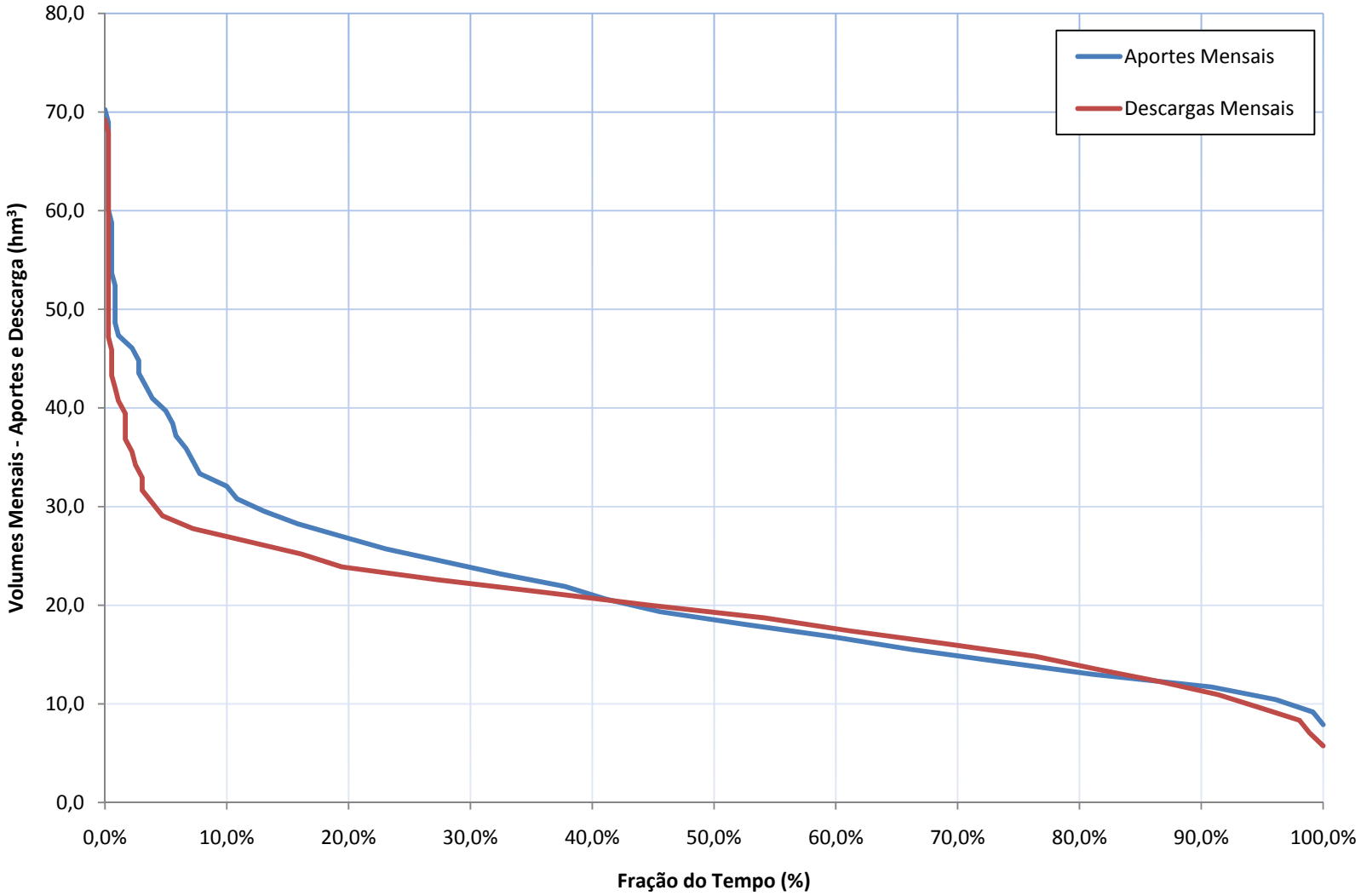

Figura II.4: Cenário de Referência – Clima e Demanda Atuais – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

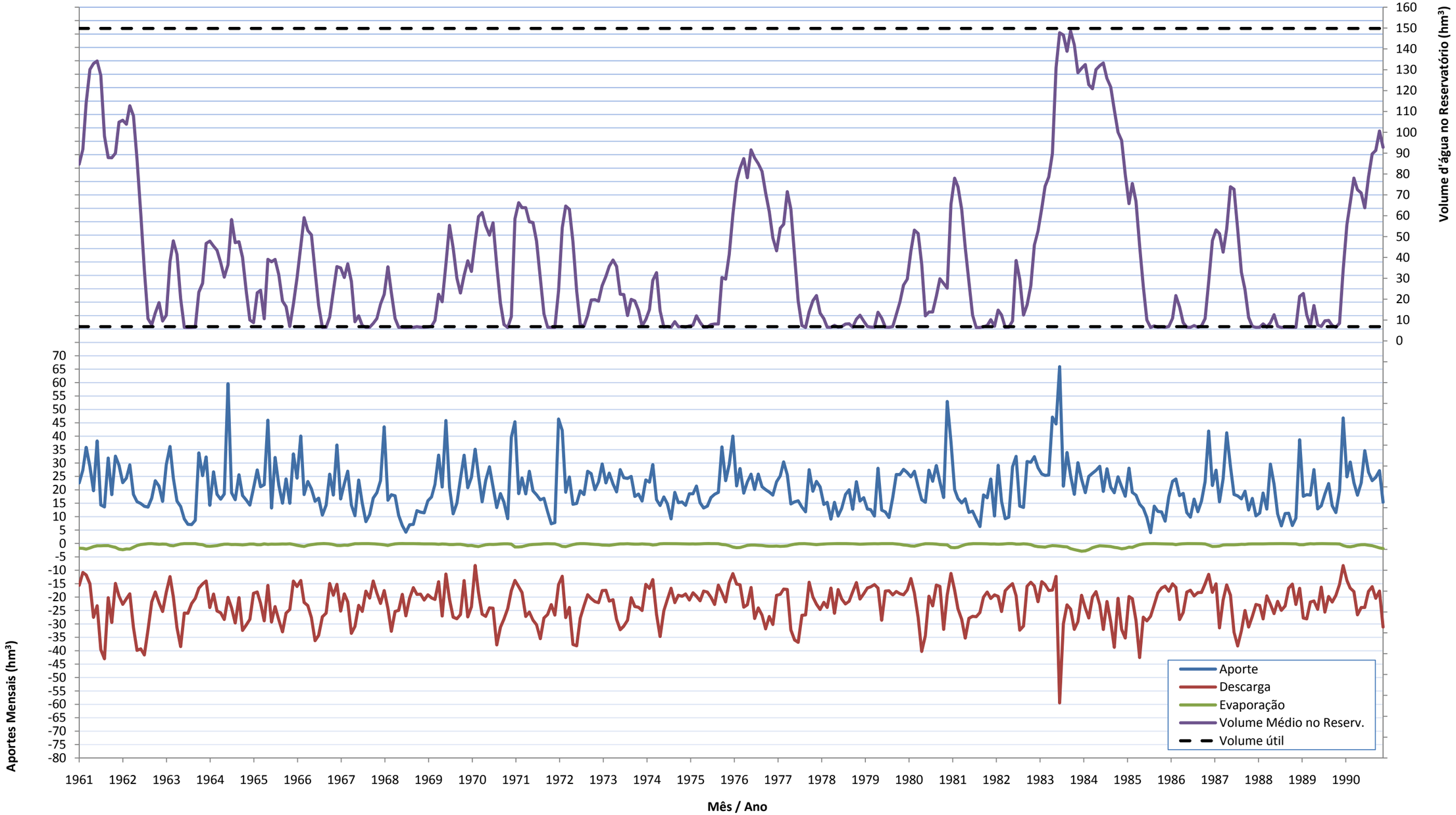

Figura II.5 – Cenário Clima Atual e Demanda Futura – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.

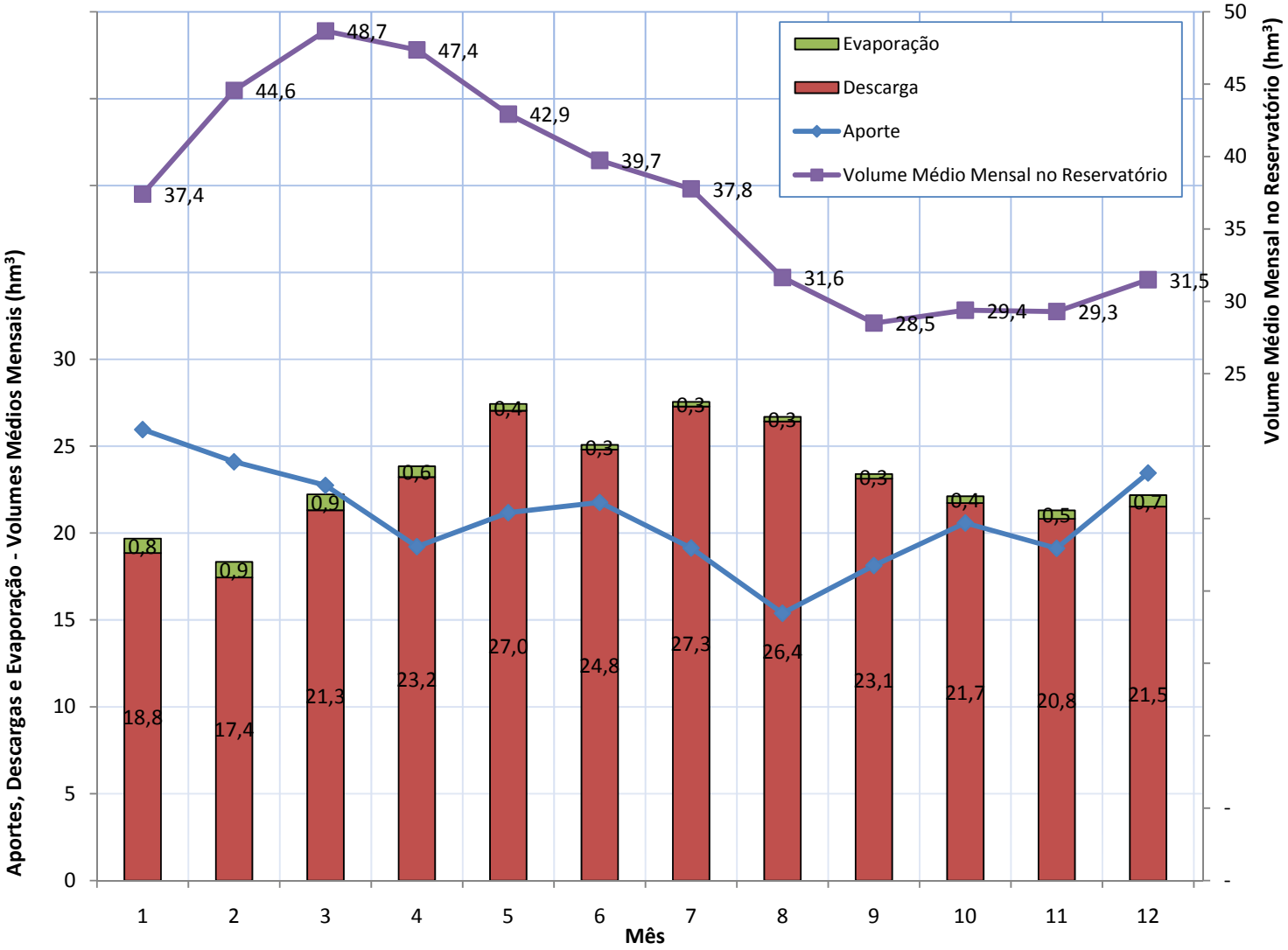

Figura II.6: **Cenário Clima Atual e Demanda Futura – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes médios mensais no sistema de reservatórios.**

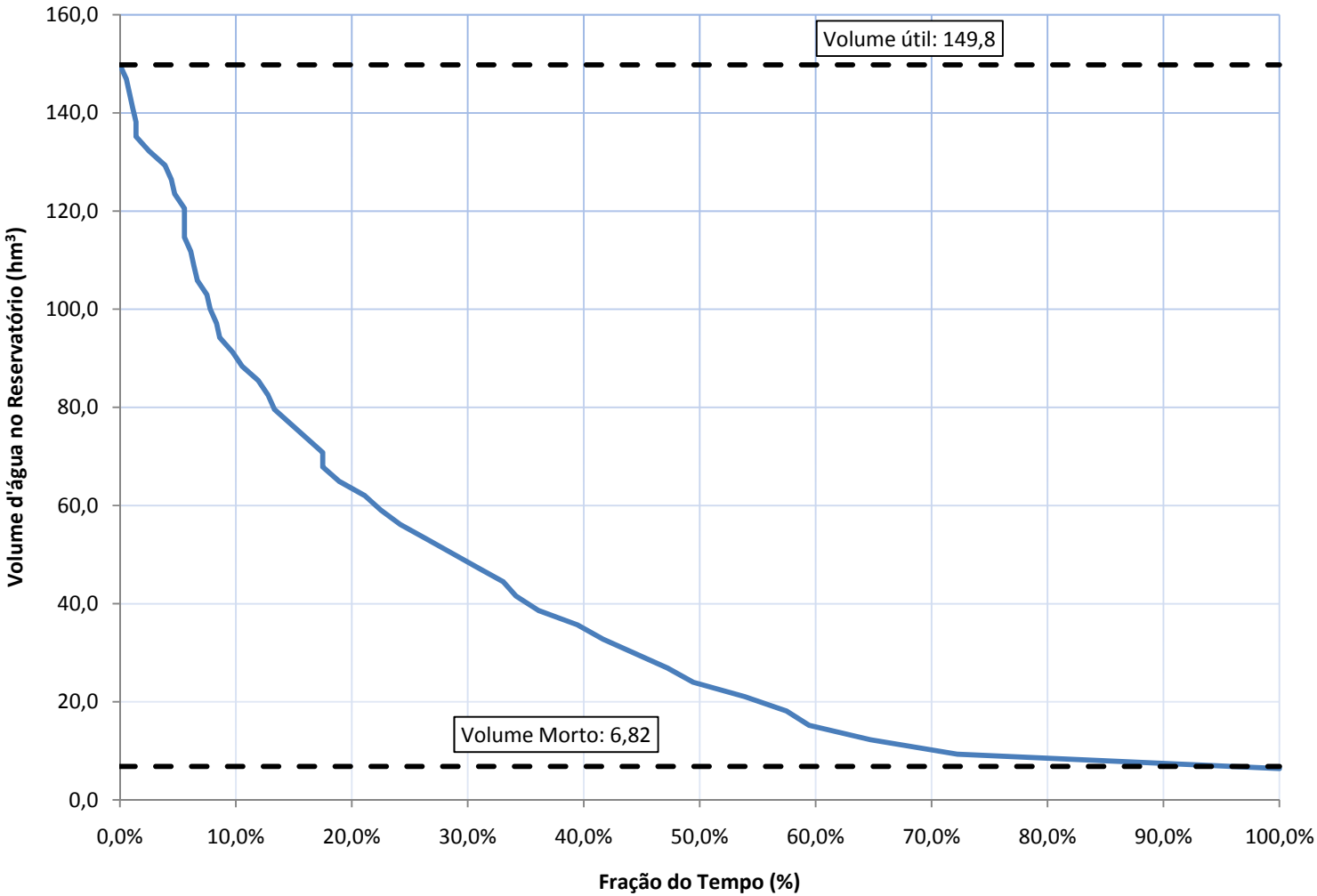

Figura II.7: Cenário Clima Atual e Demanda Futura – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

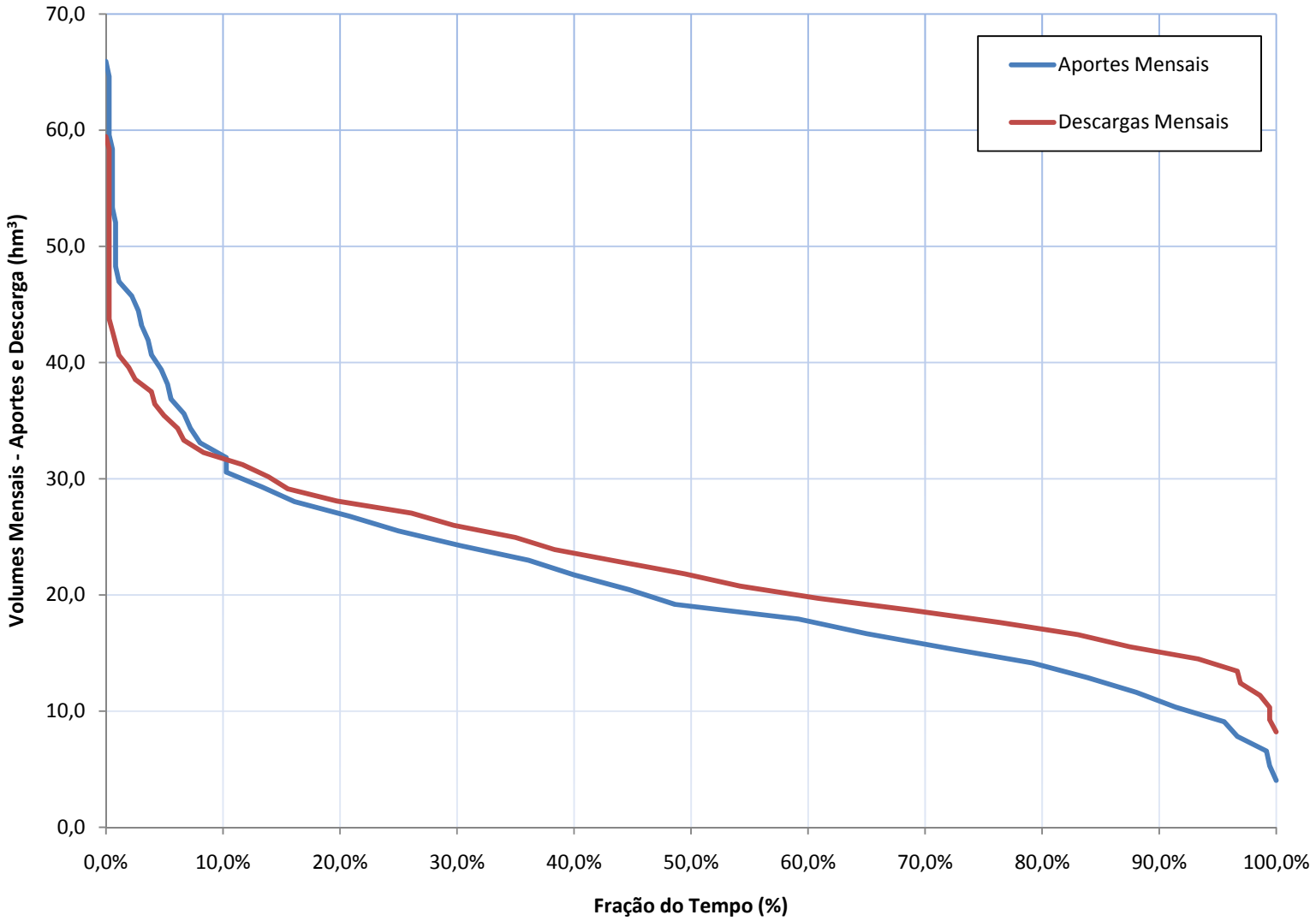

Figura II.8: Cenário Clima Atual e Demanda Futura – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanencia de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

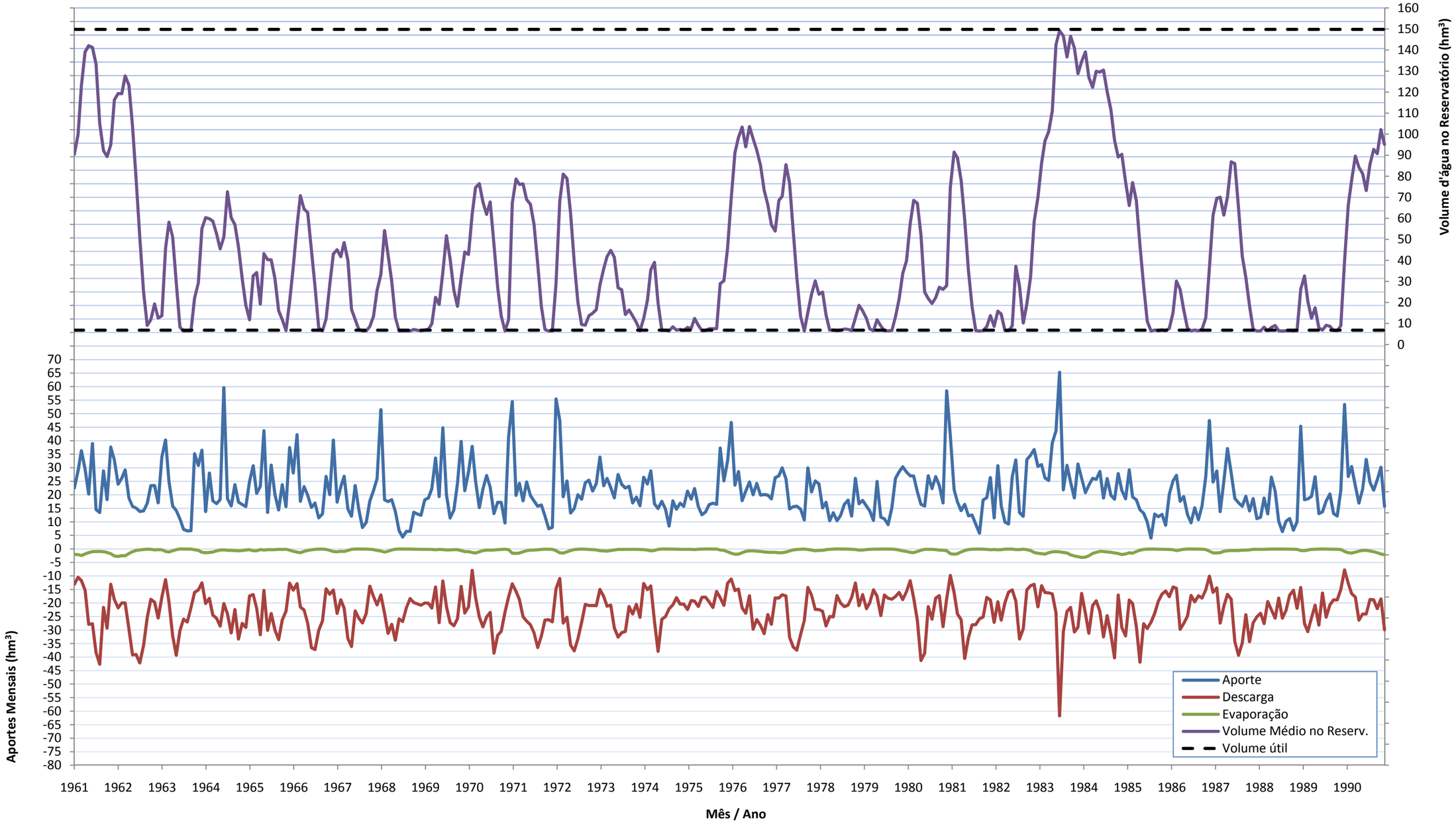

Figura II.9: Cenário GCMA1B+1 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.

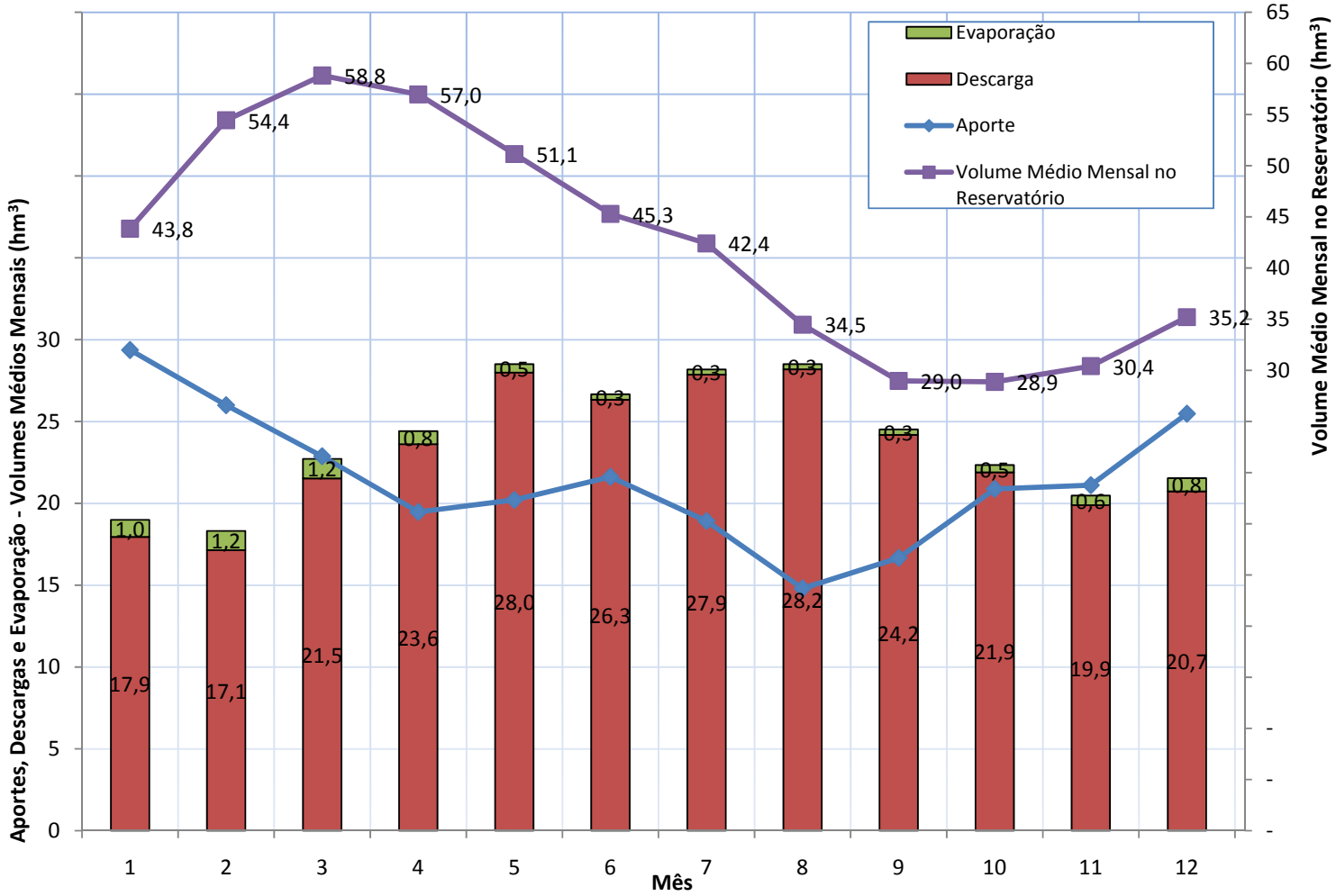

Figura II.10: Cenário GCMA1B+1 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes médios mensais no sistema de reservatórios.

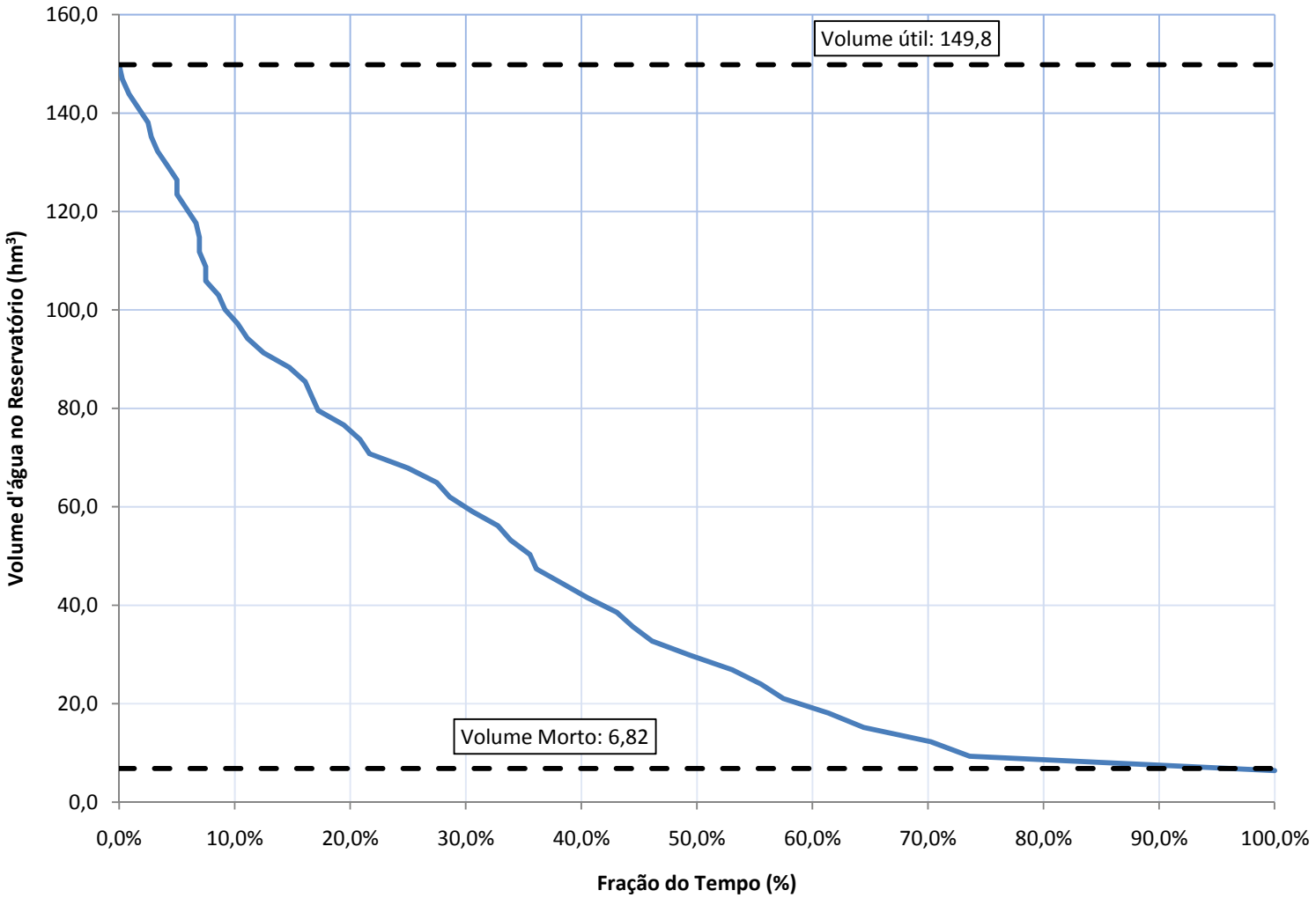

Figura II.11: Cenário GCMA1B+1 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

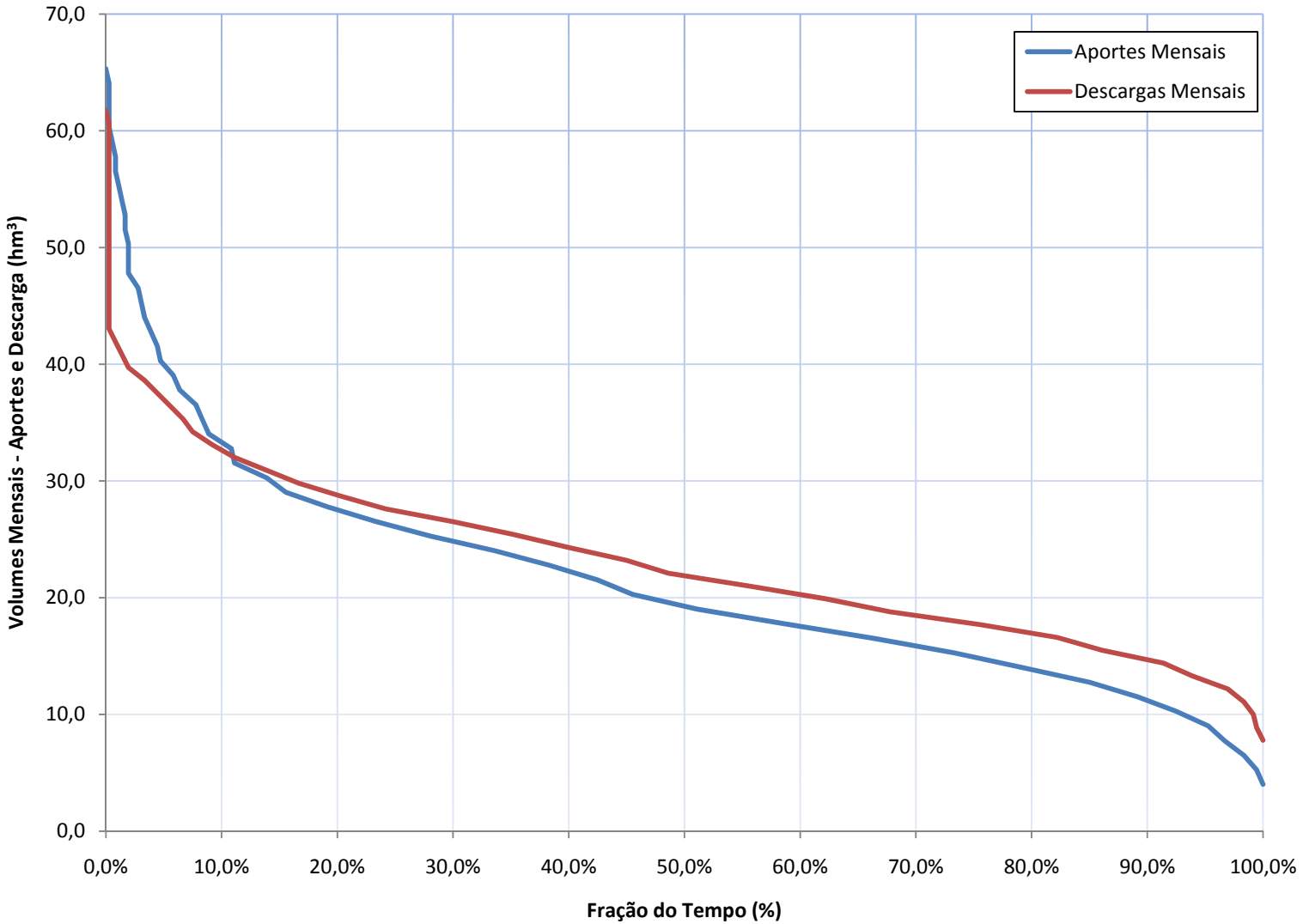

Figura II.12: Cenário GCMA1B+1 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

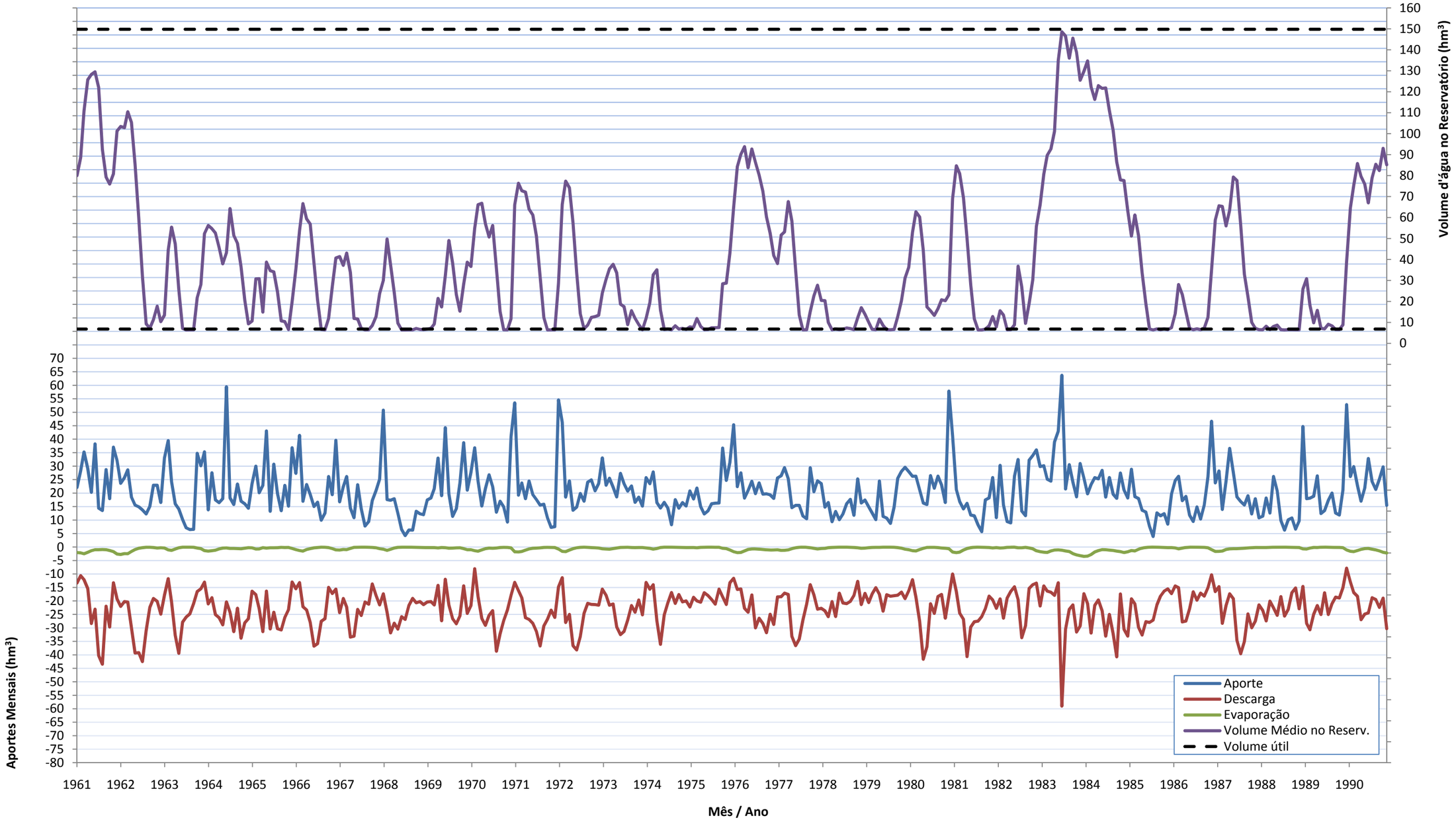

Figura II.13: Cenário GCMA1B+2 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.

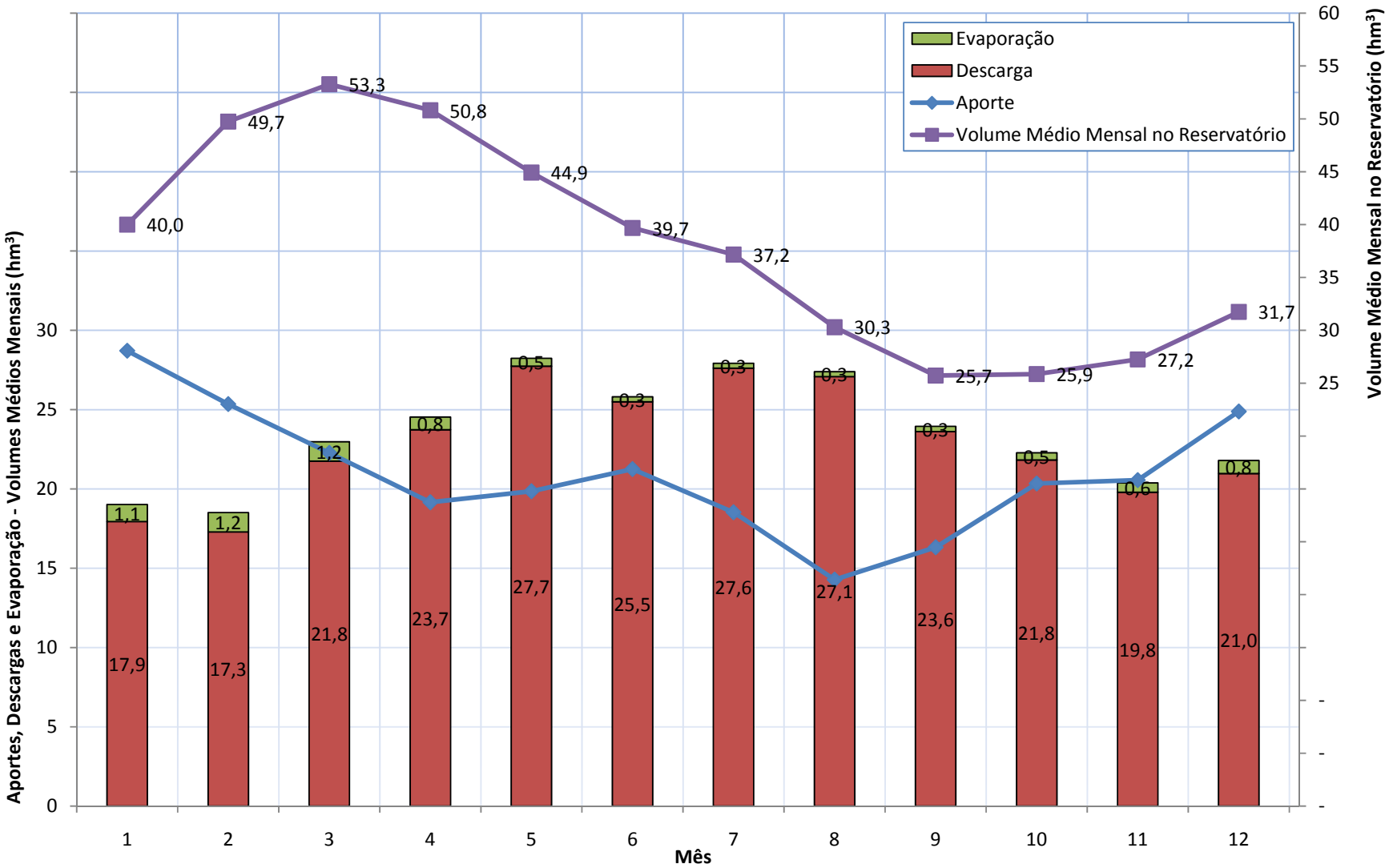

Figura II.14: Cenário GCMA1B+2 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes médios mensais no sistema de reservatórios.

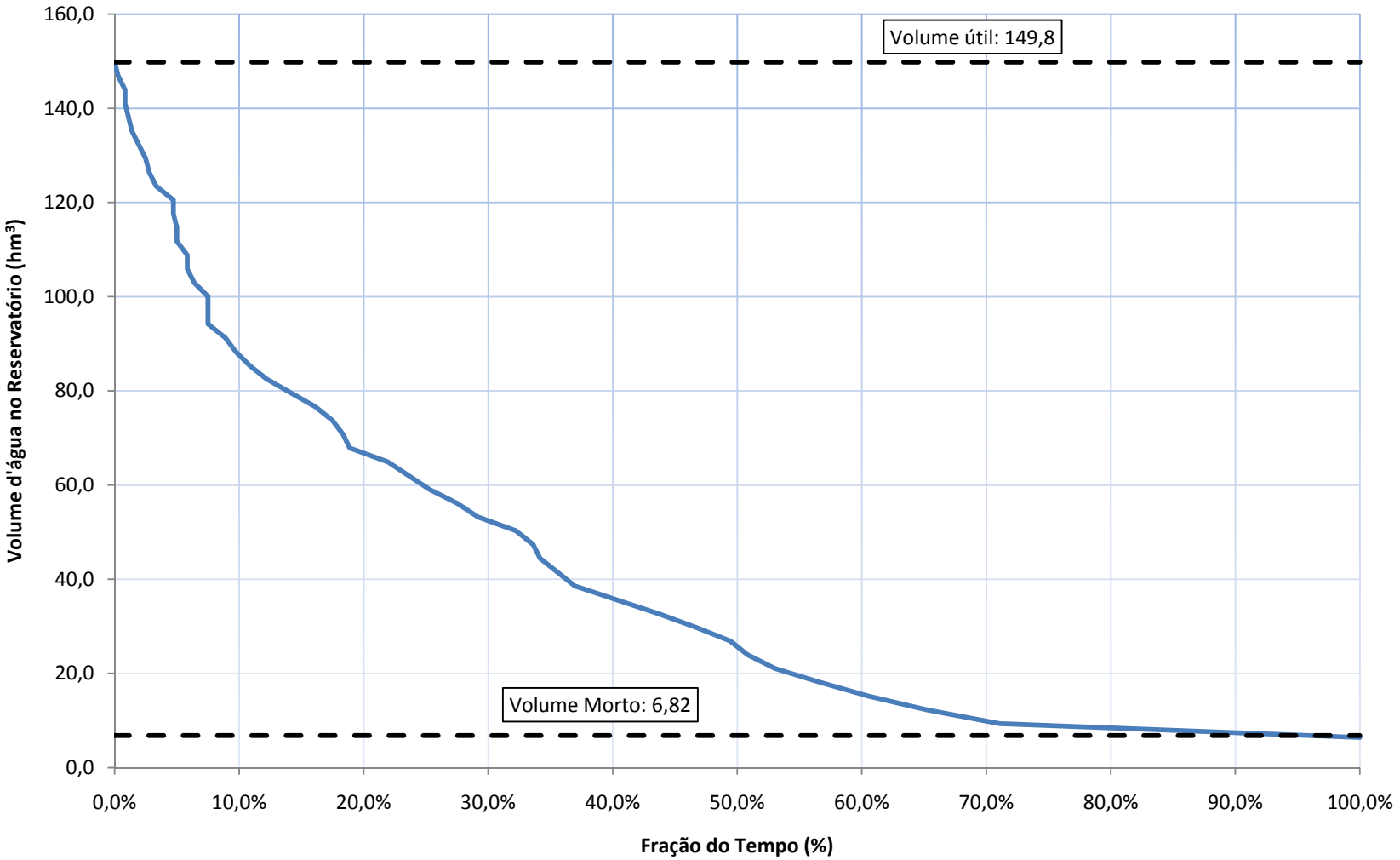

Figura II.15: Cenário GCMA1B+2 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

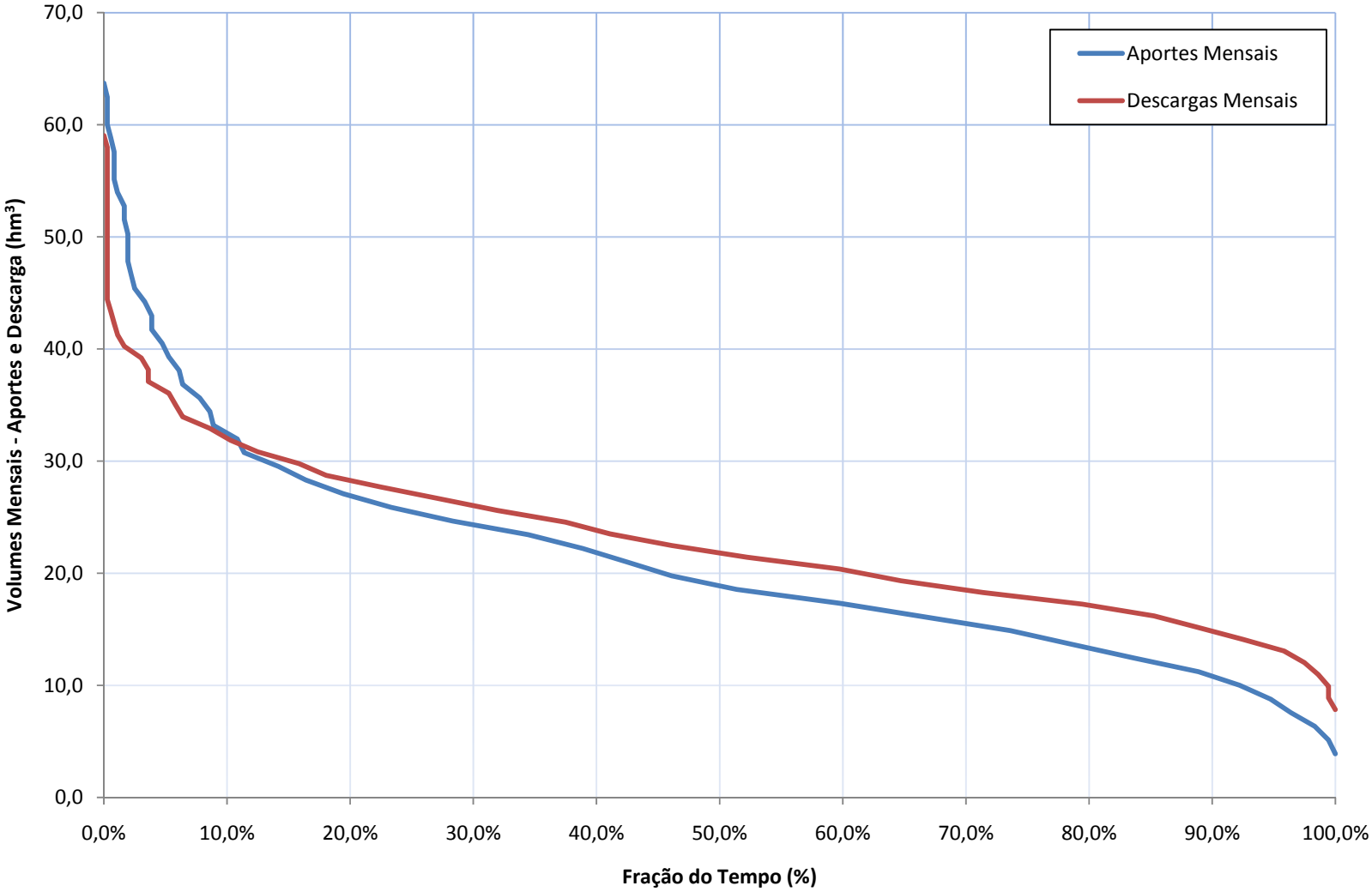

Figura II.16: Cenário GCMA1B+2 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

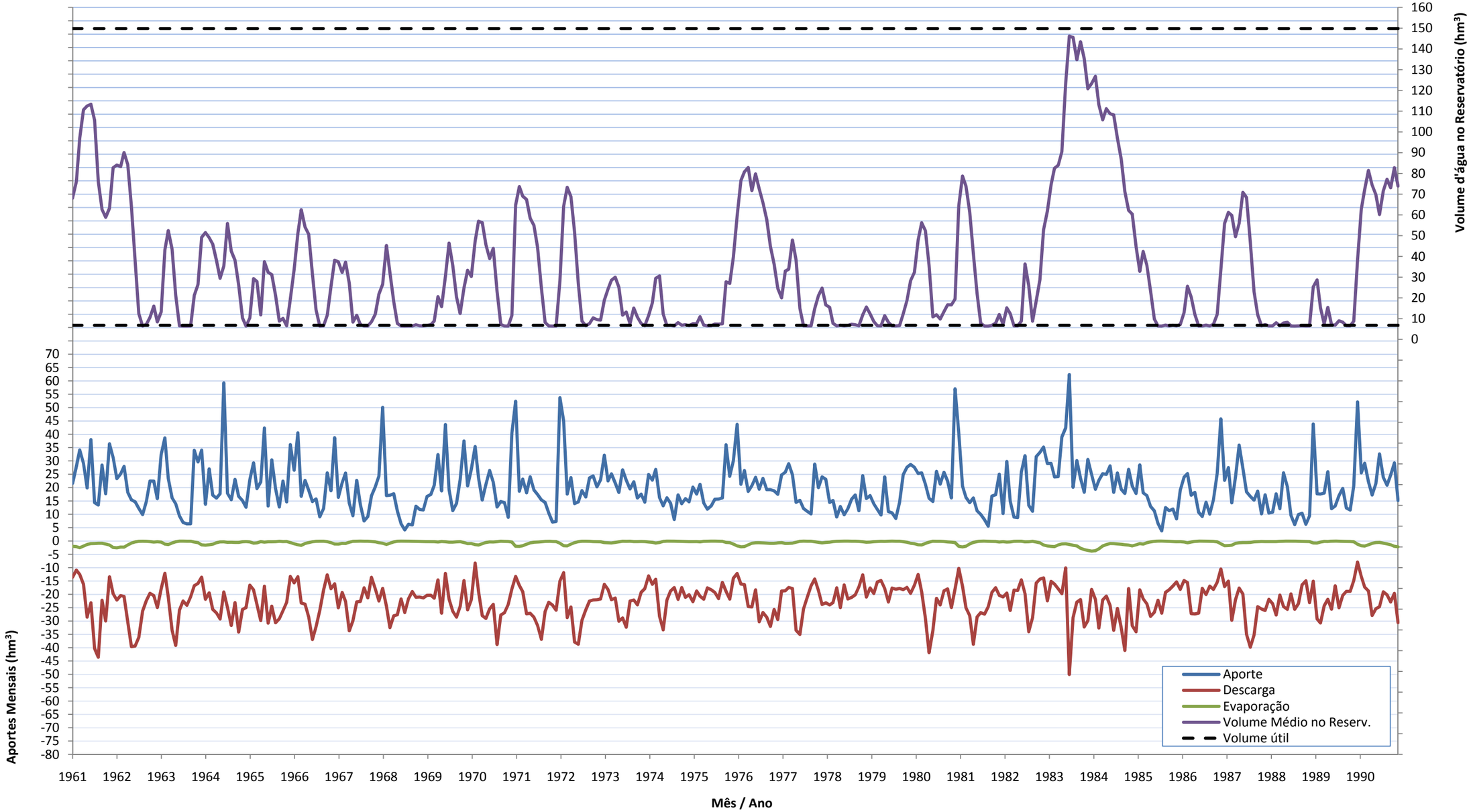

Figura II.17: **Cenário GCMA1B+3 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.**

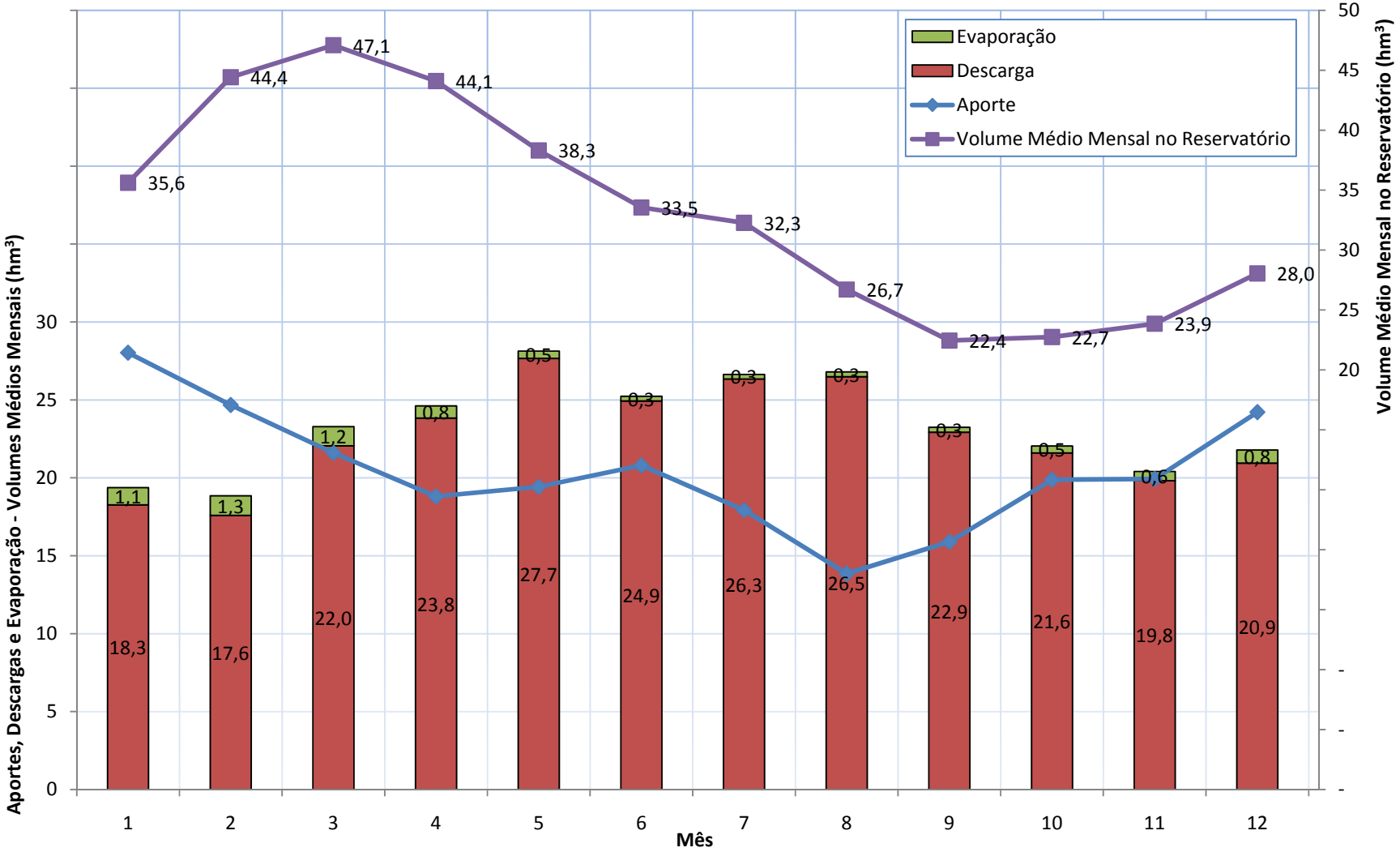

Figura II.18: Cenário GCMA1B+3 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes médios mensais no sistema de reservatórios.

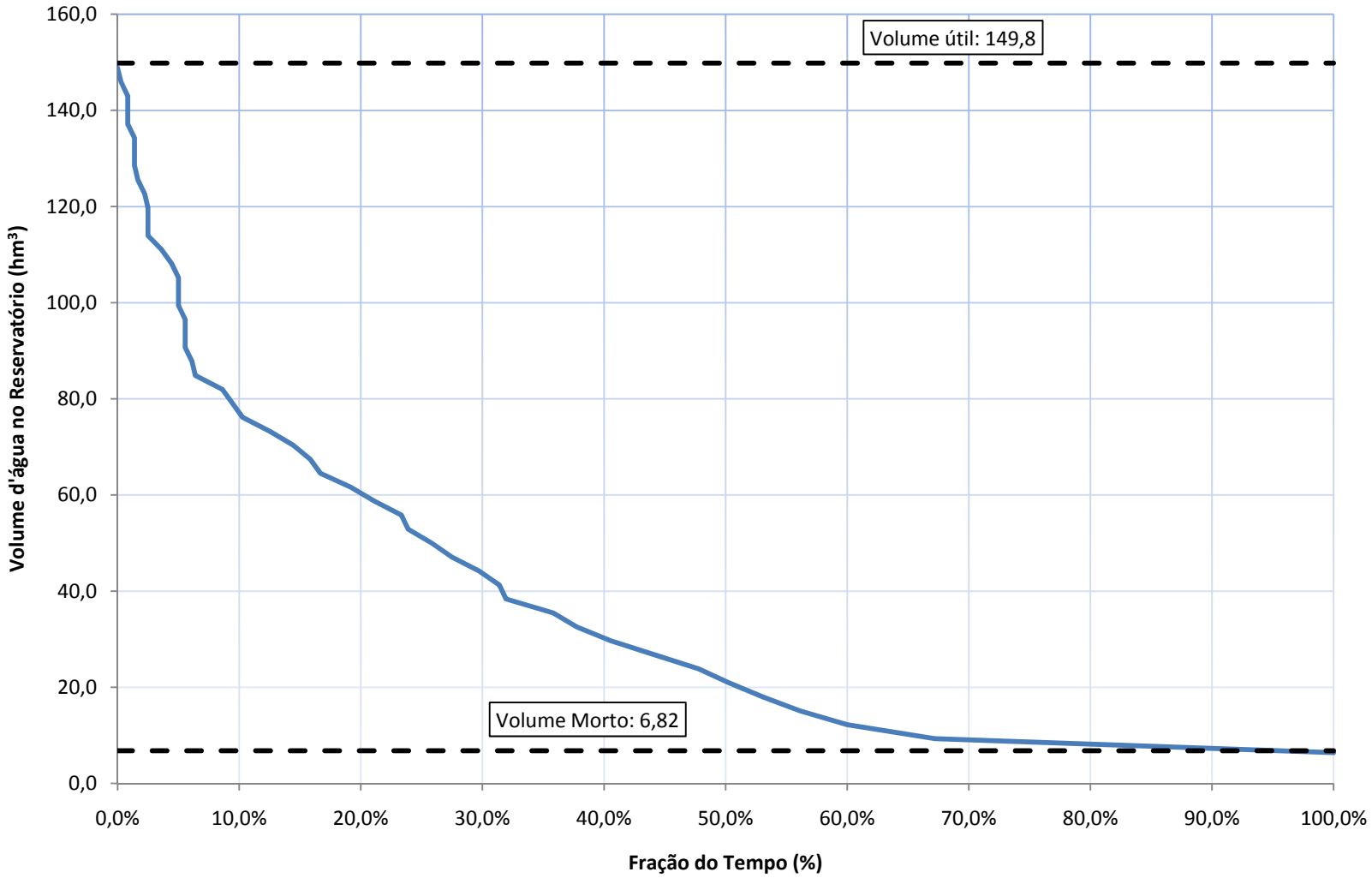

Figura II.19: Cenário GCMA1B+3 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

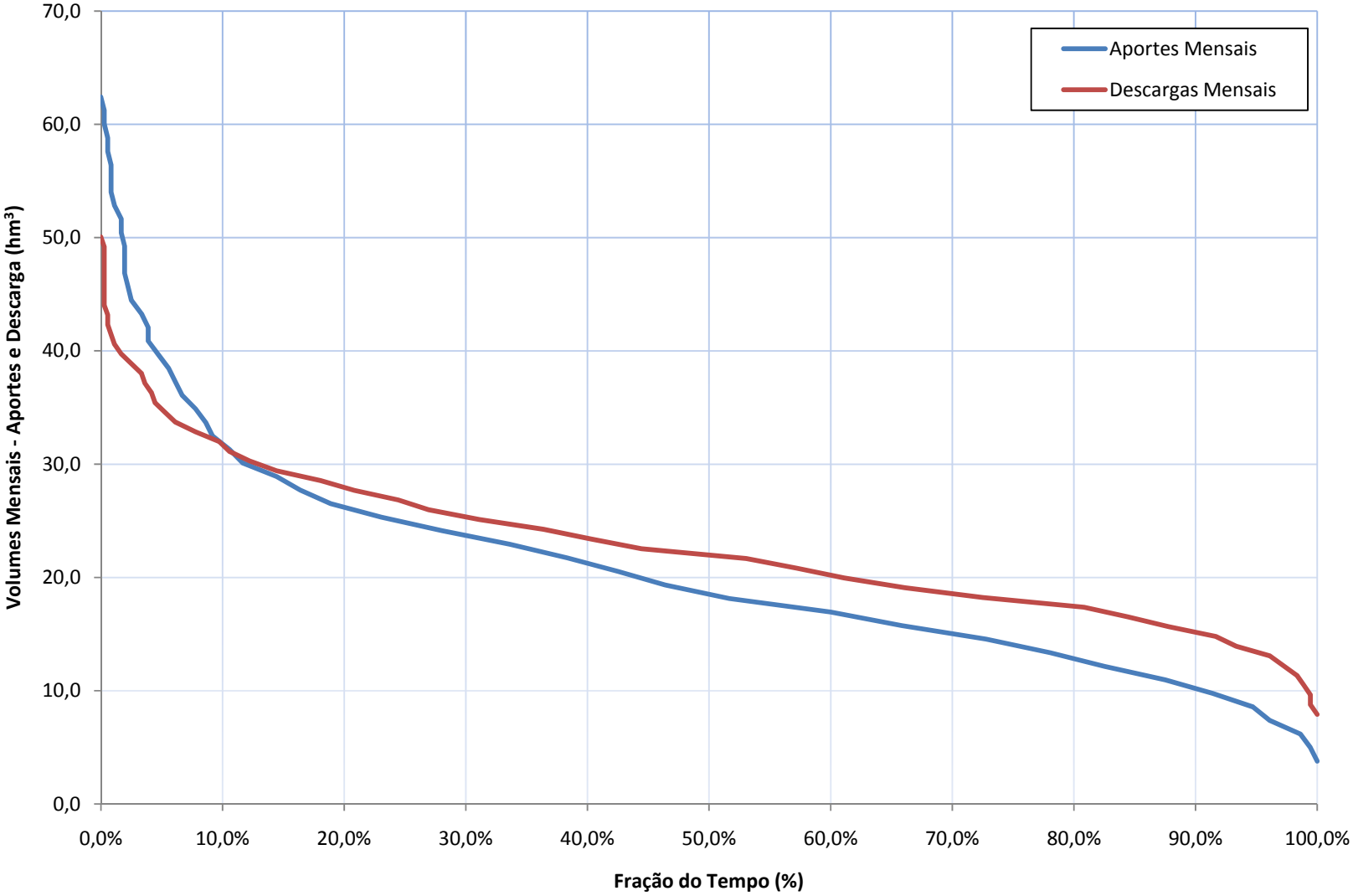

Figura II.20: Cenário GCMA1B+3 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

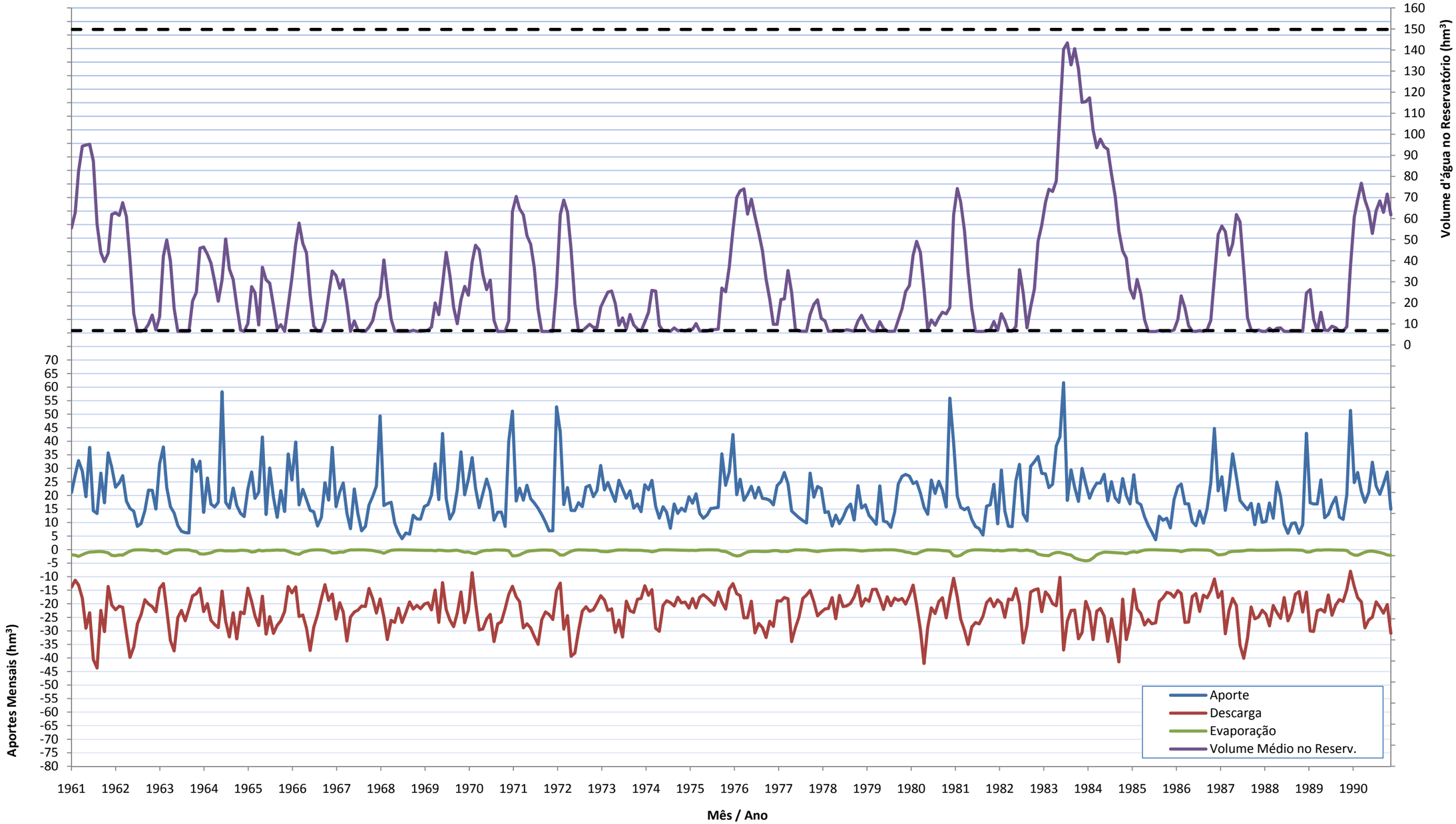

Figura II.21: Cenário GCMA1B+4 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.

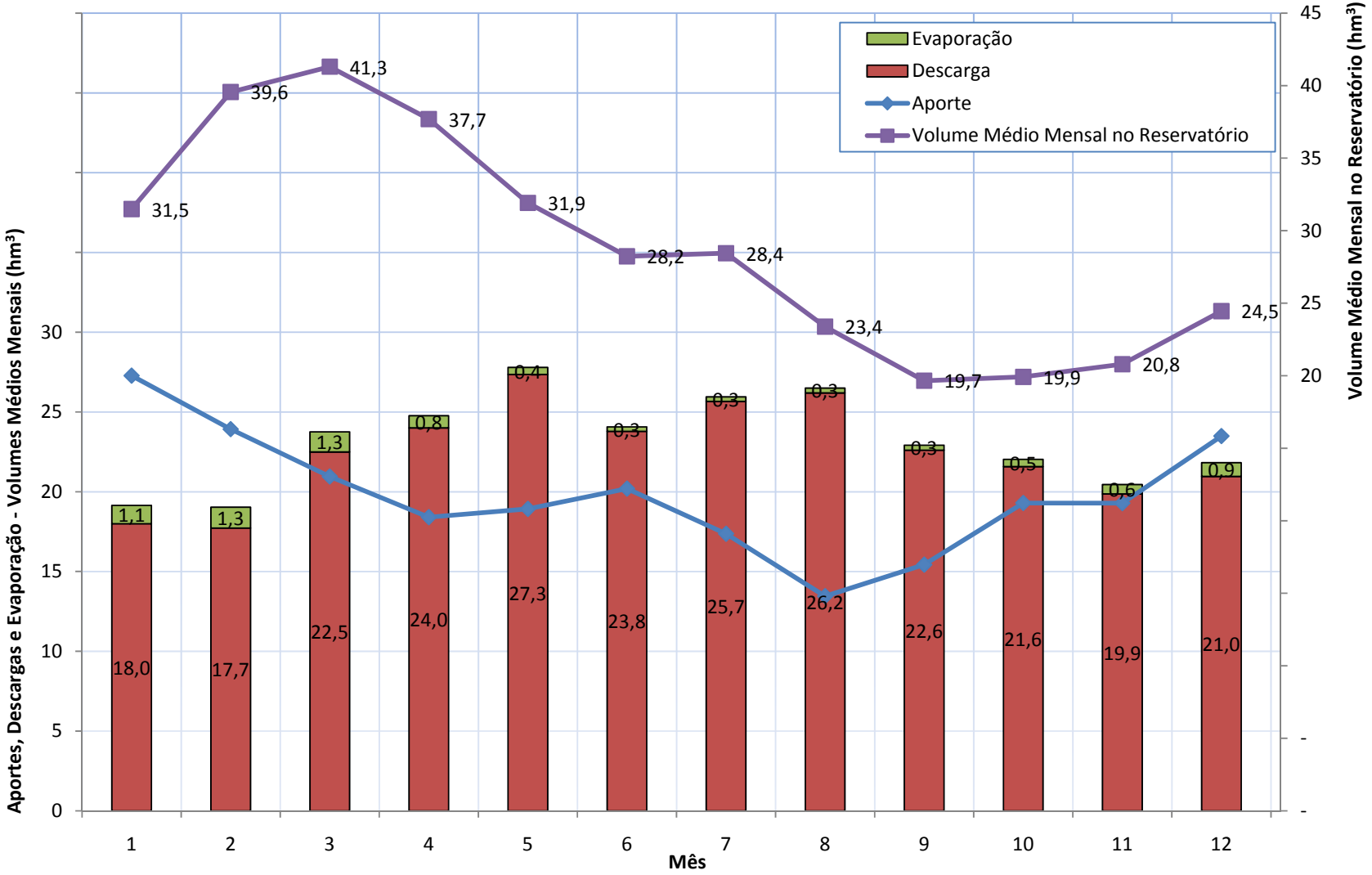

Figura II.22: Cenário GCMA1B+4 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes médios mensais no sistema de reservatórios.

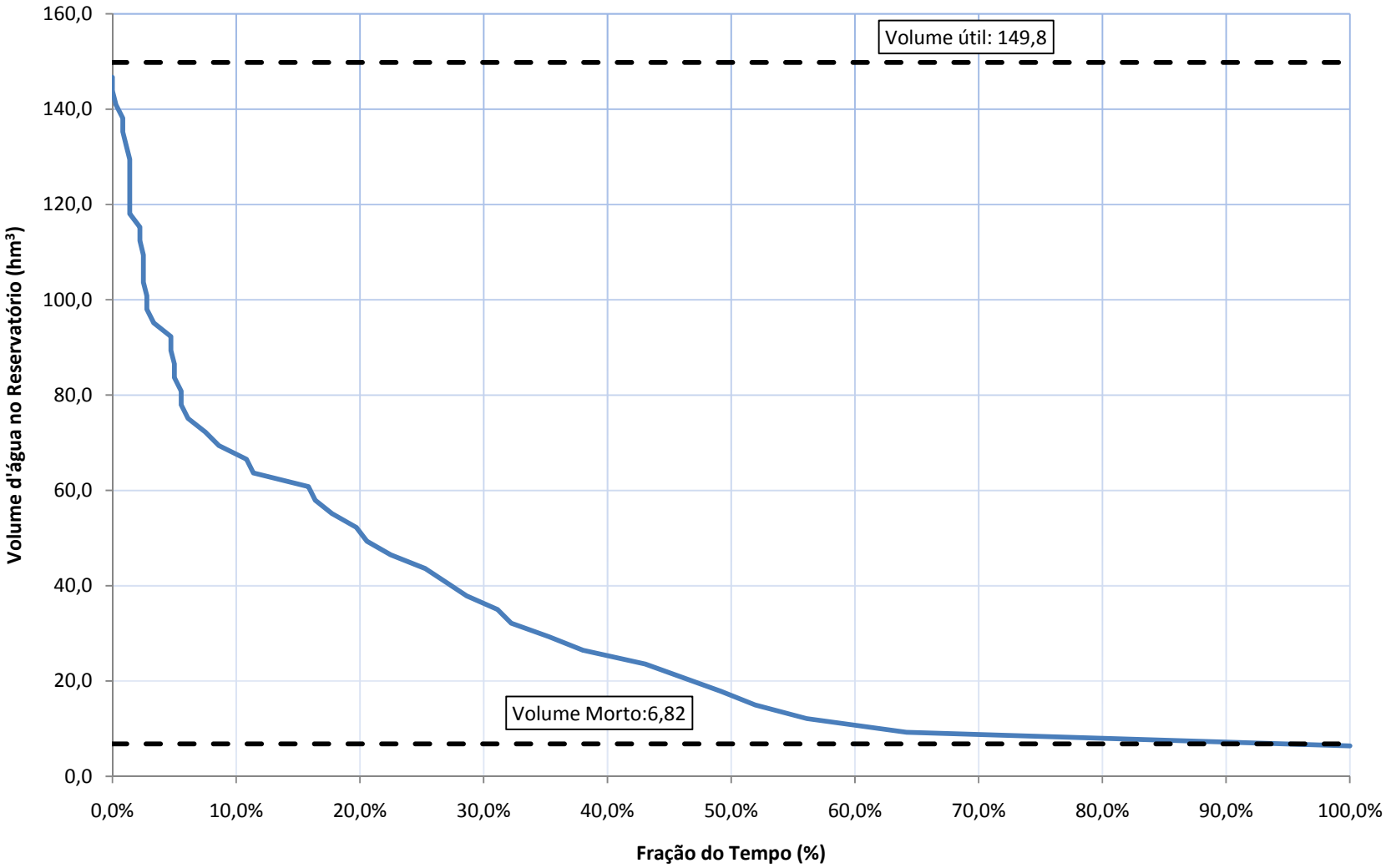

Figura II.23: Cenário GCMA1B+4 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

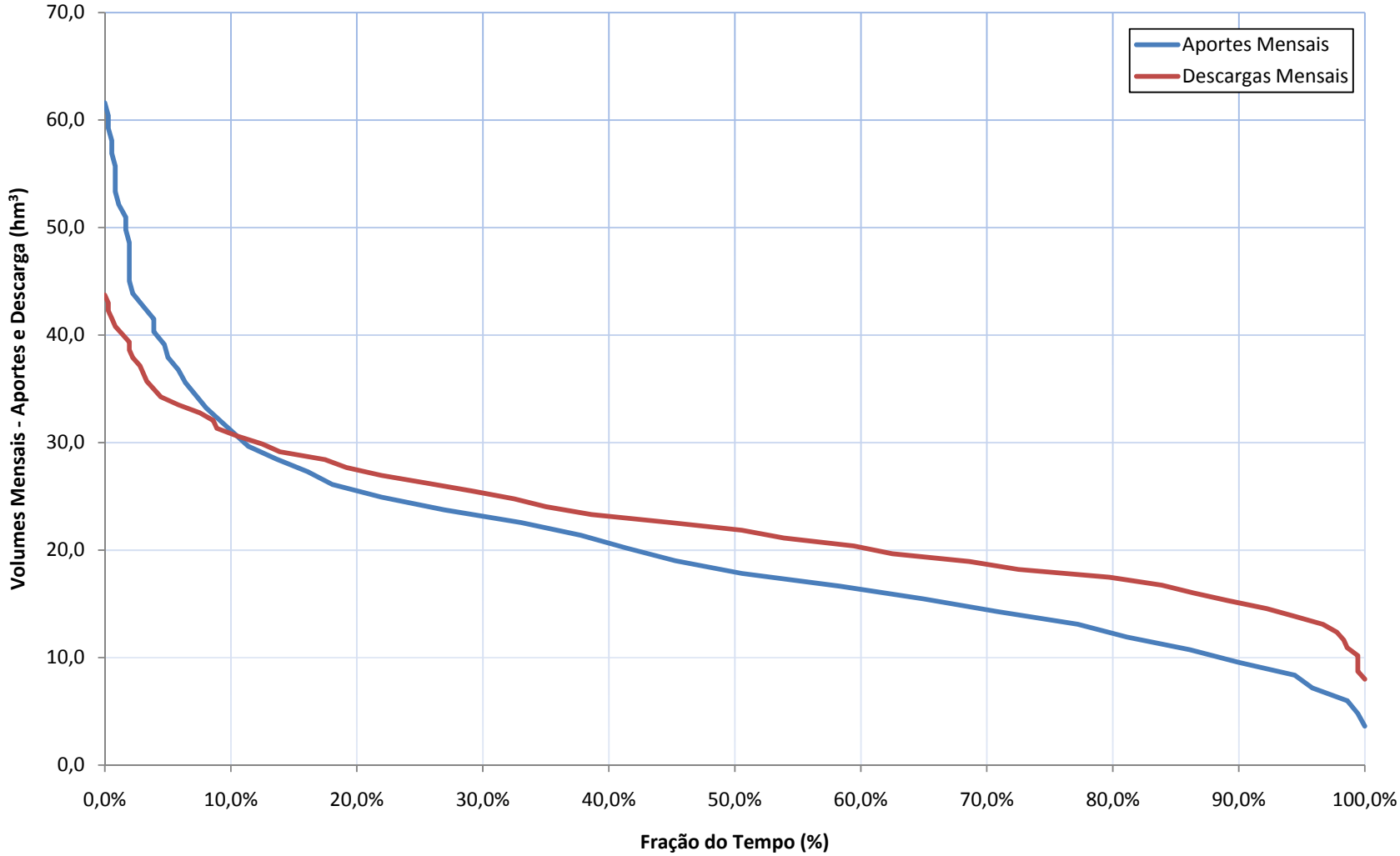

Figura II.24: Cenário GCMA1B+4 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

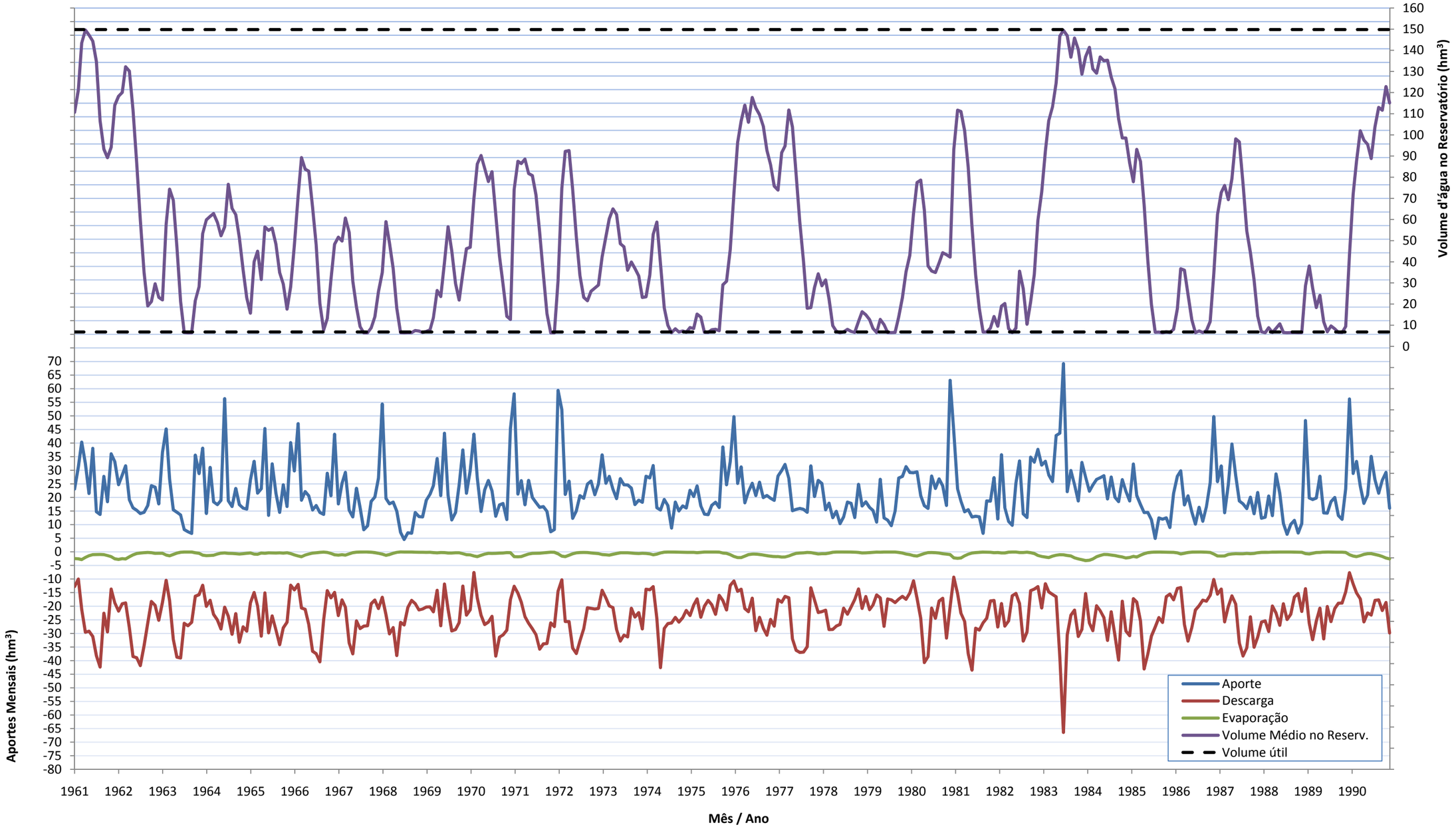

Figura II.25: Cenário GCMA2+1 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.

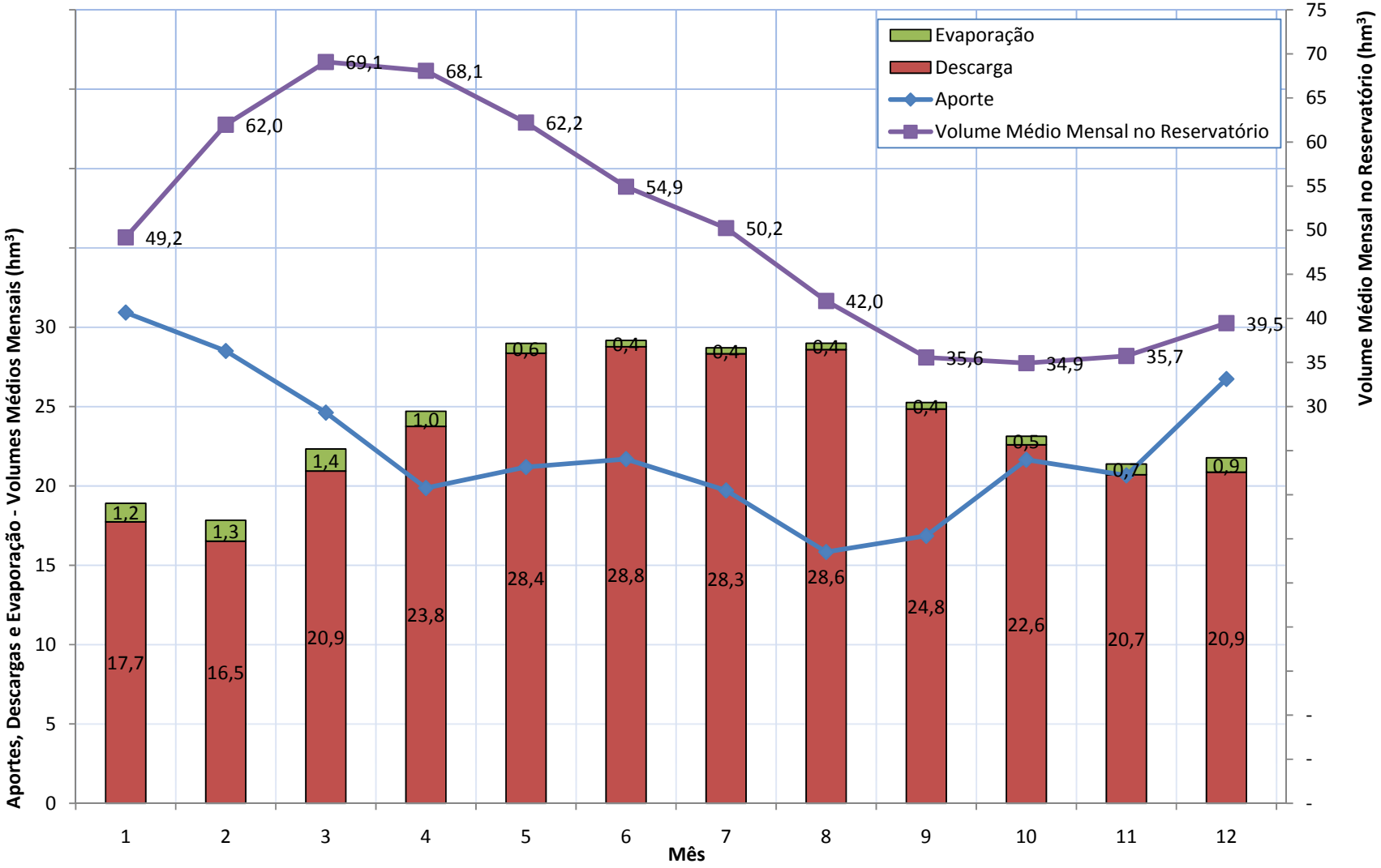

Figura II.26: Cenário GCMA2+1 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes médios mensais no sistema de reservatórios.

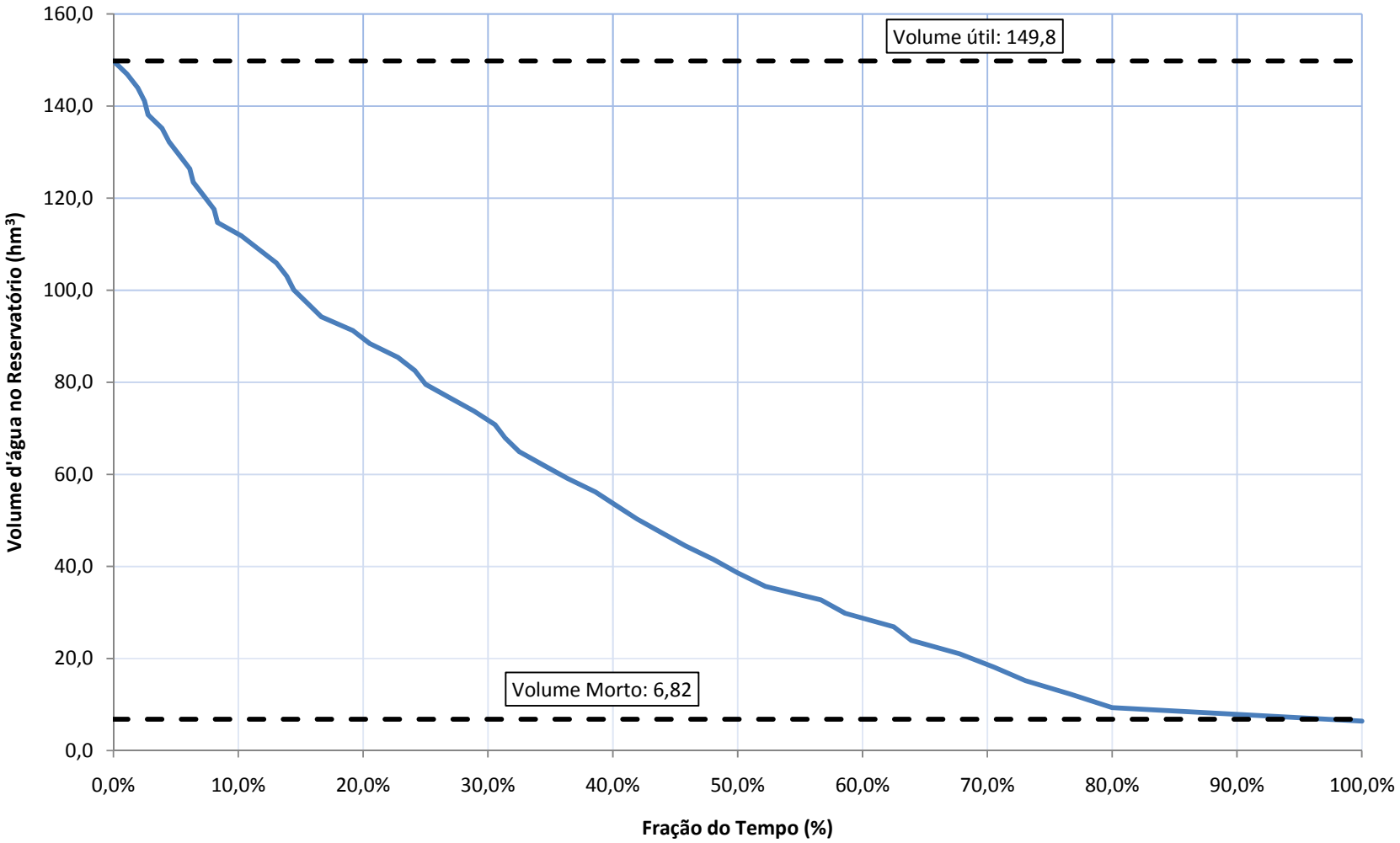

Figura II.27: Cenário GCMA2+1 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

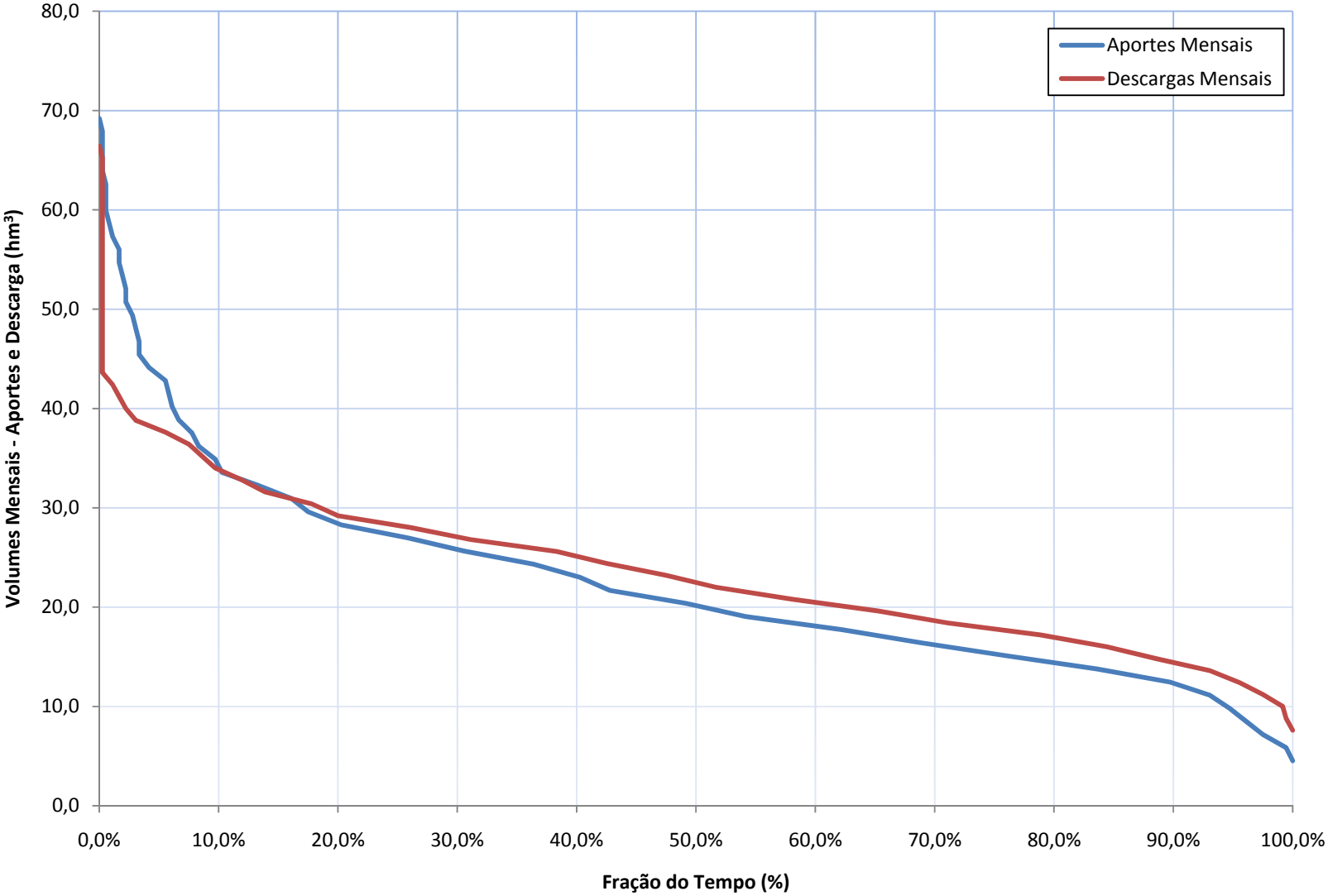

Figura II.28: Cenário GCMA2+1 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

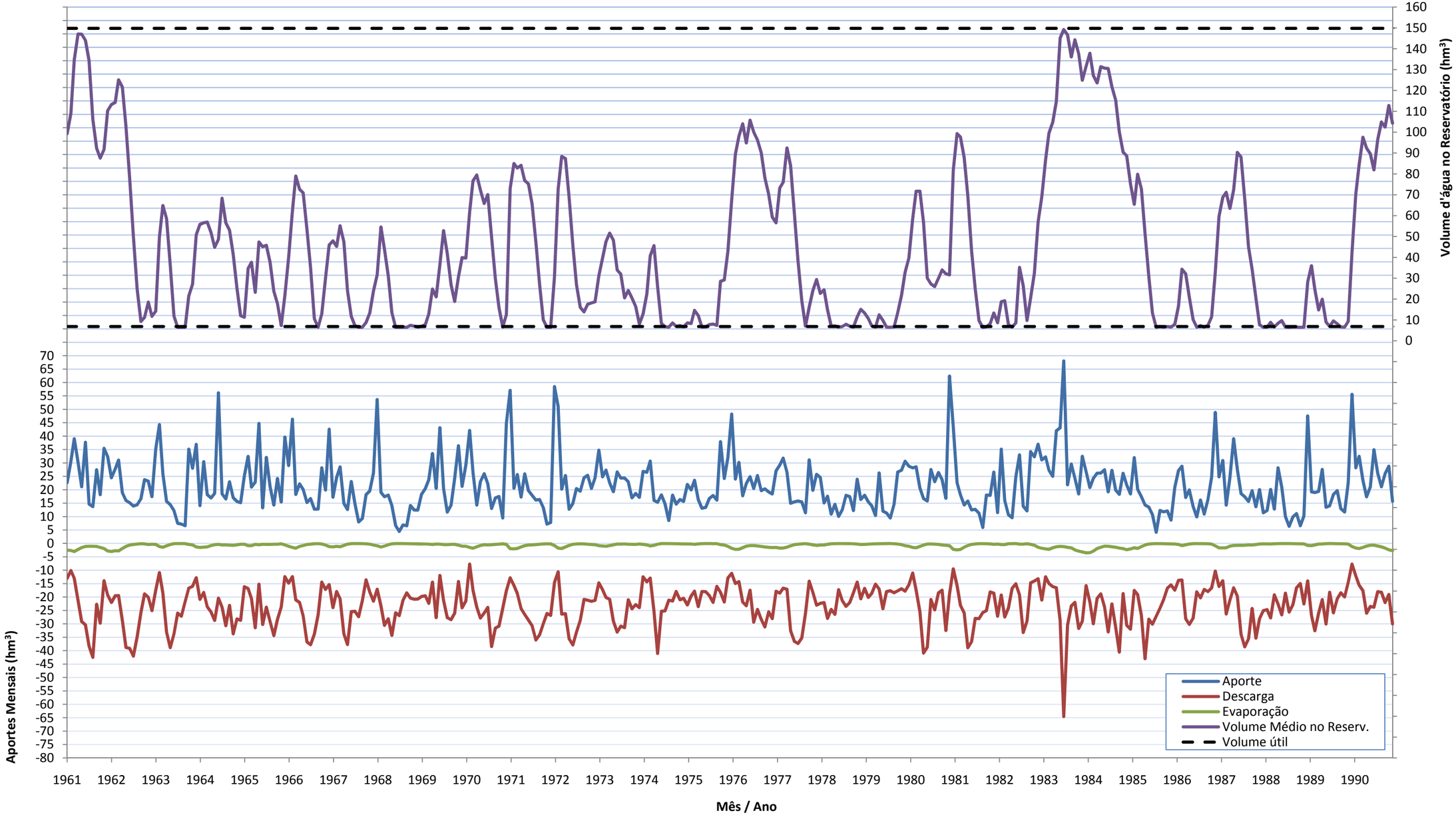

Figura II.29: Cenário GCMA2+2 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.

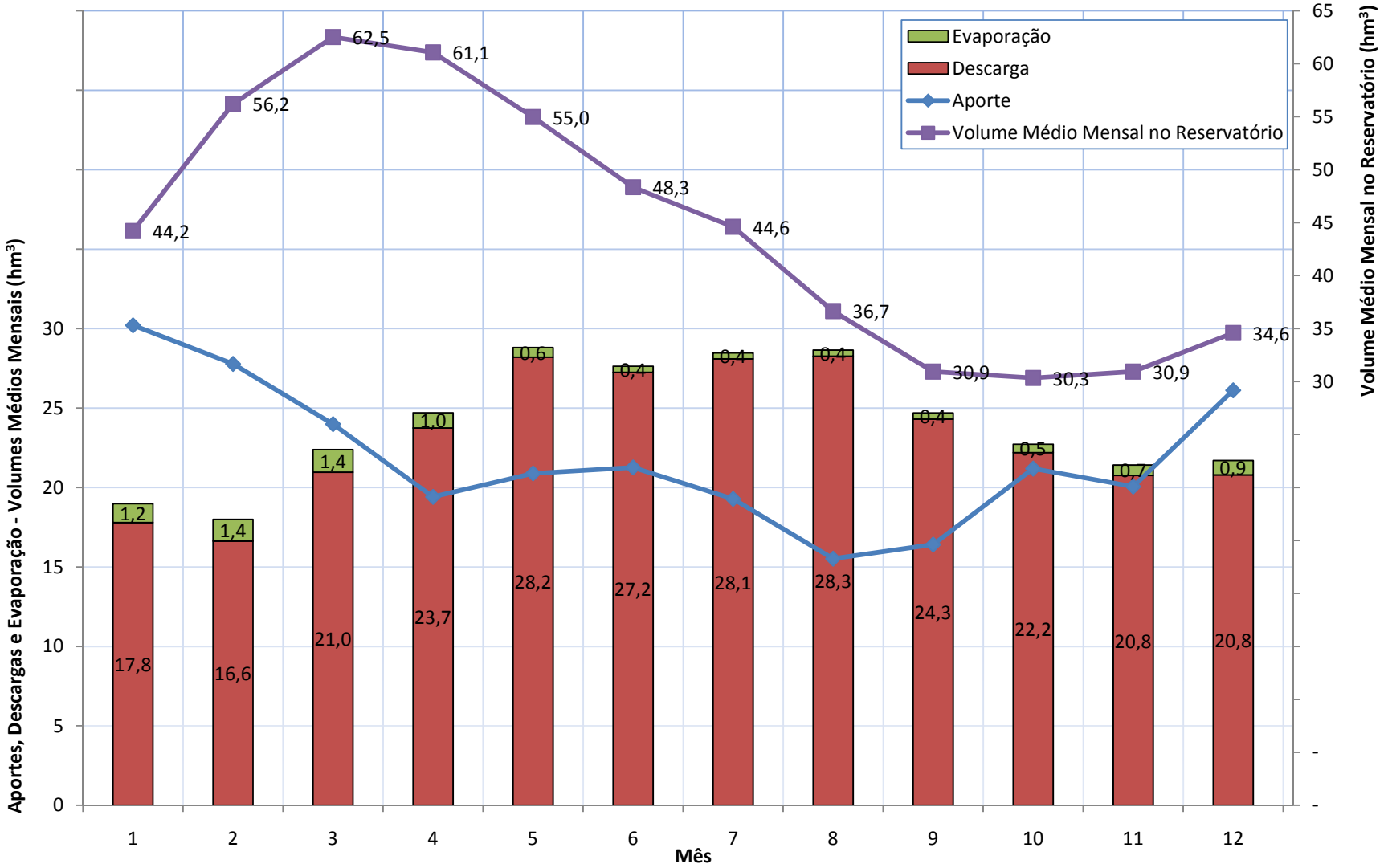

Figura II.30: Cenário GCMA2+2 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes medios mensais no sistema de reservatórios.

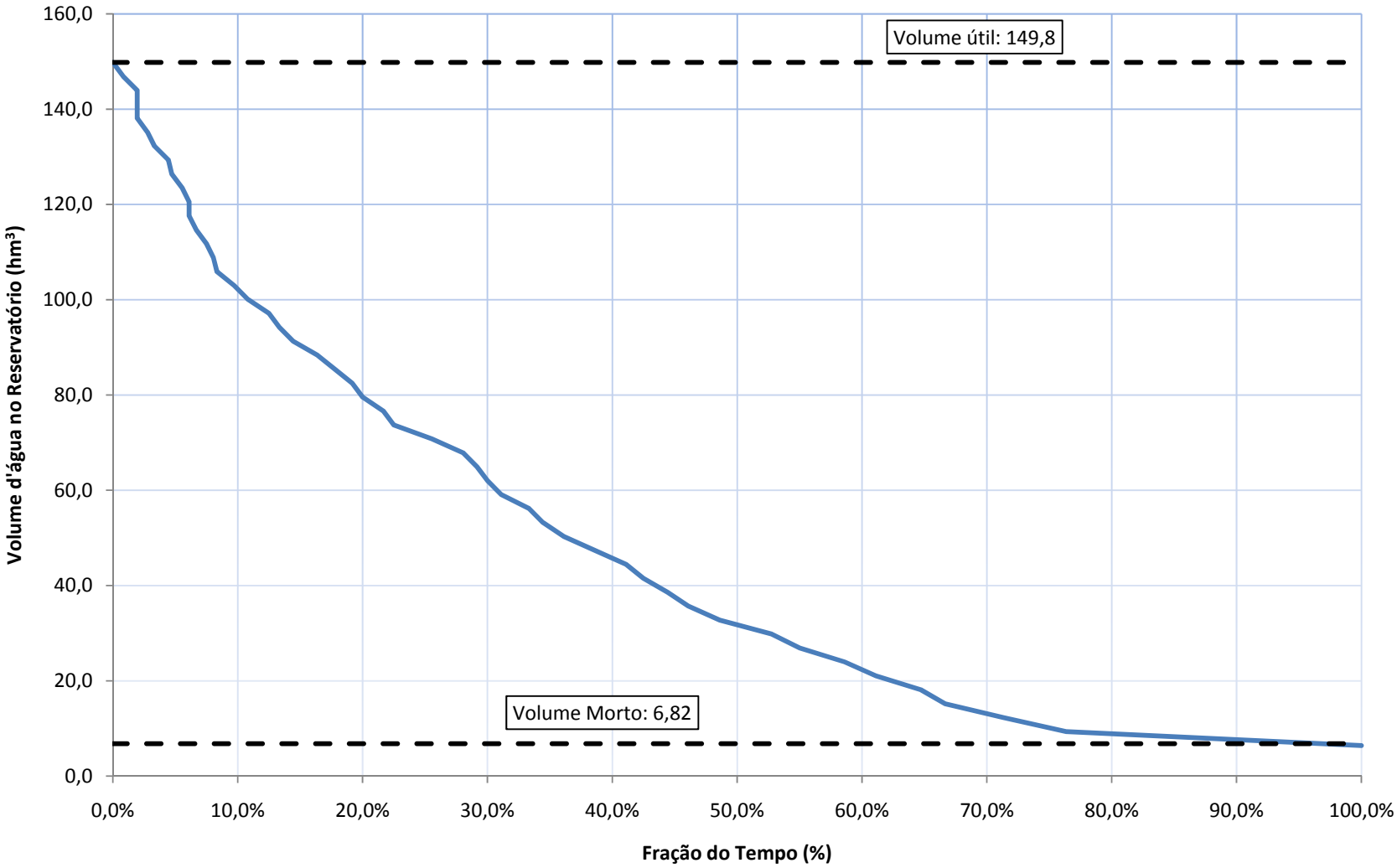

Figura II.31: Cenário GCMA2+2 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

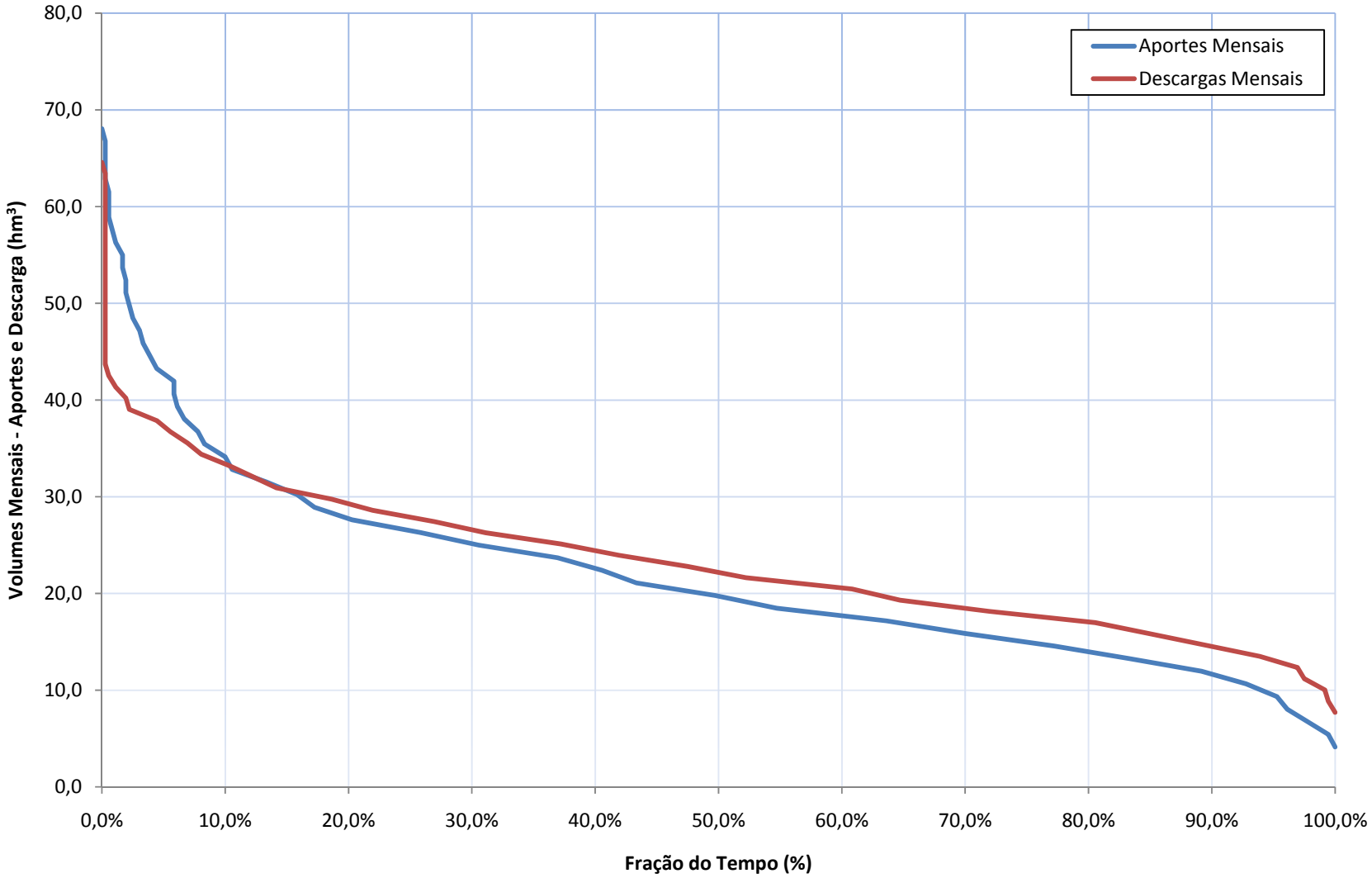

Figura II.32: Cenário GCMA2+2 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

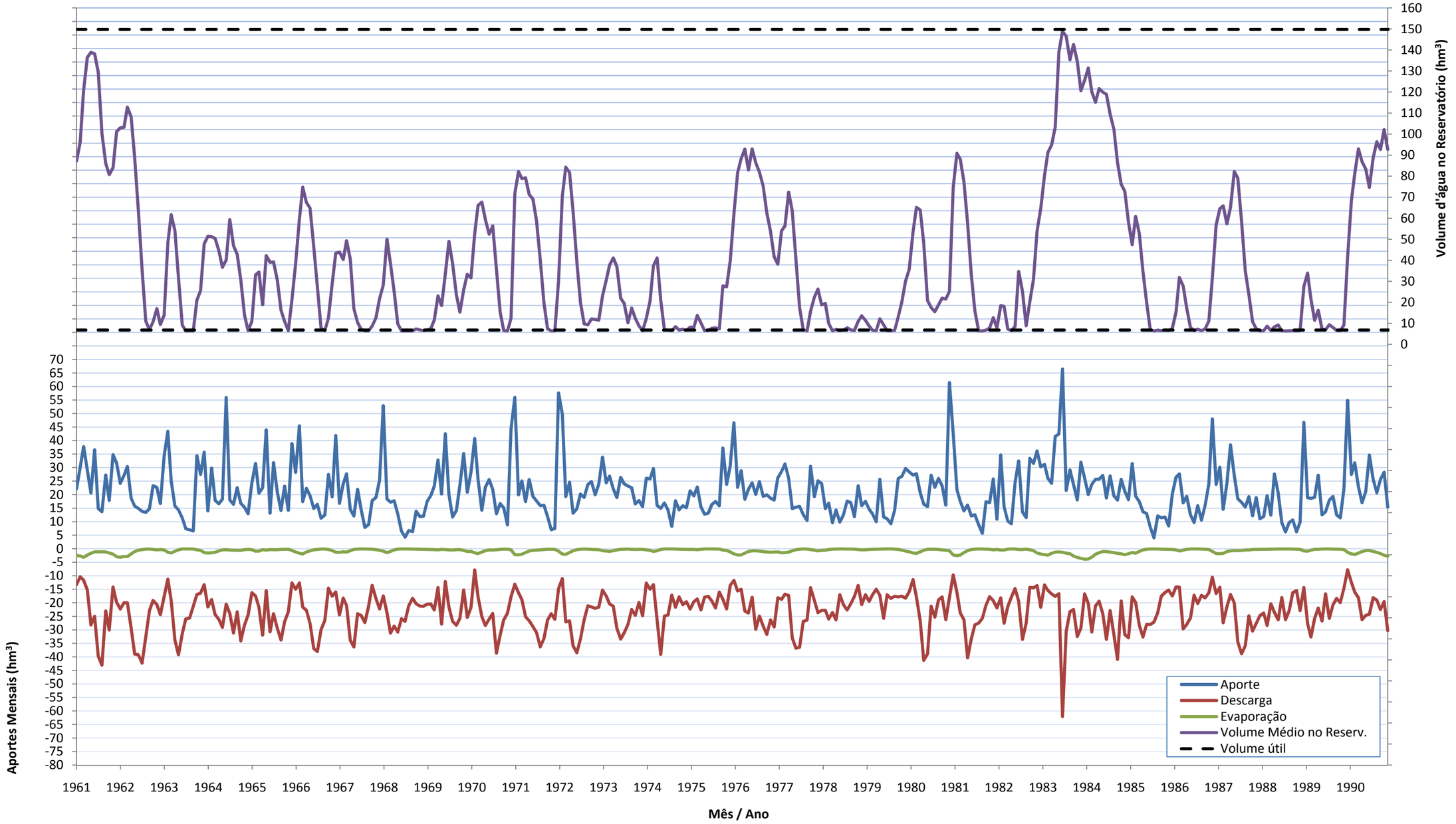

Figura II.33: Cenário GCMA2+3 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.

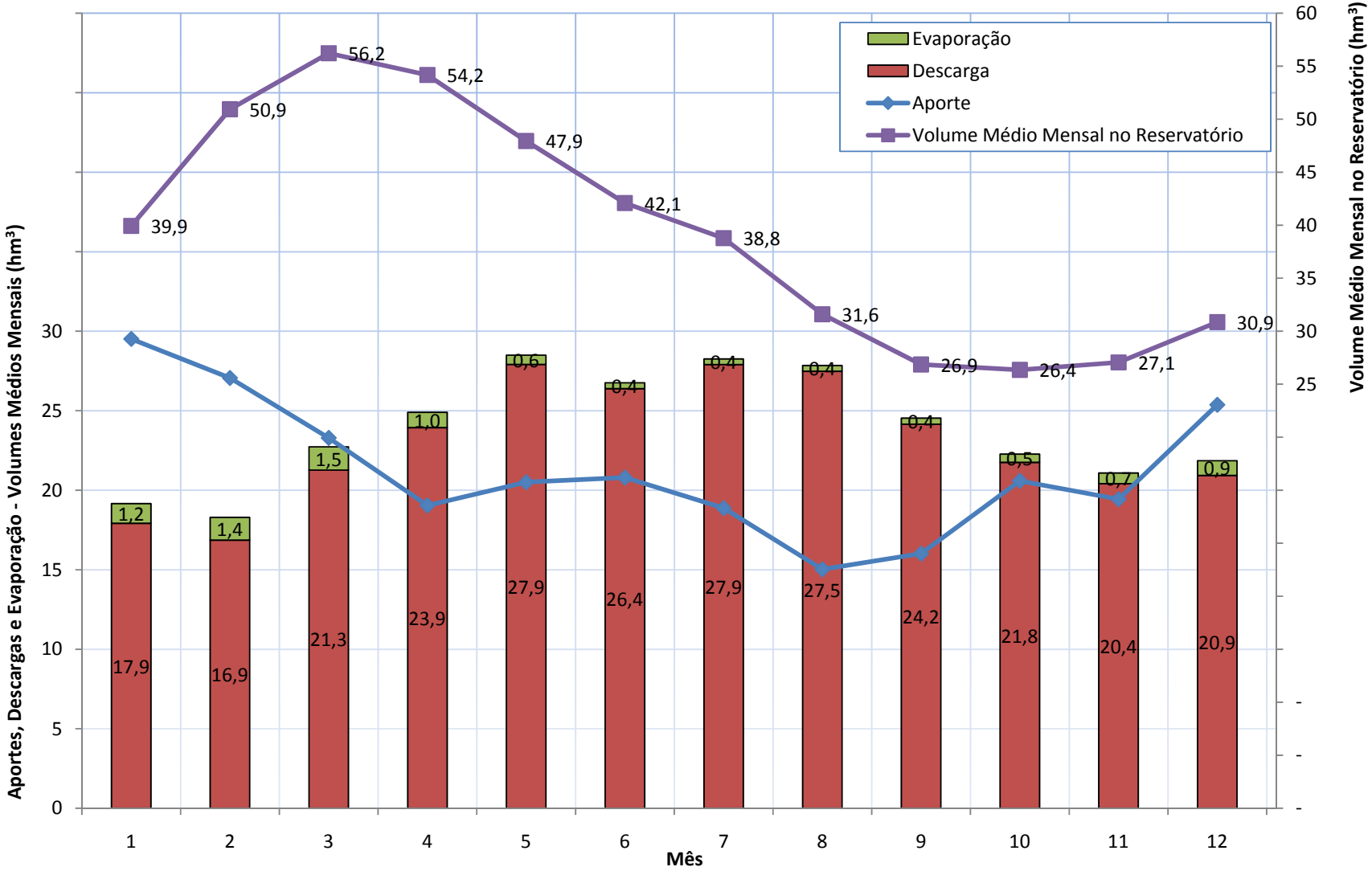

Figura II.34: Cenário GCMA2+3 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes médios mensais no sistema de reservatórios.

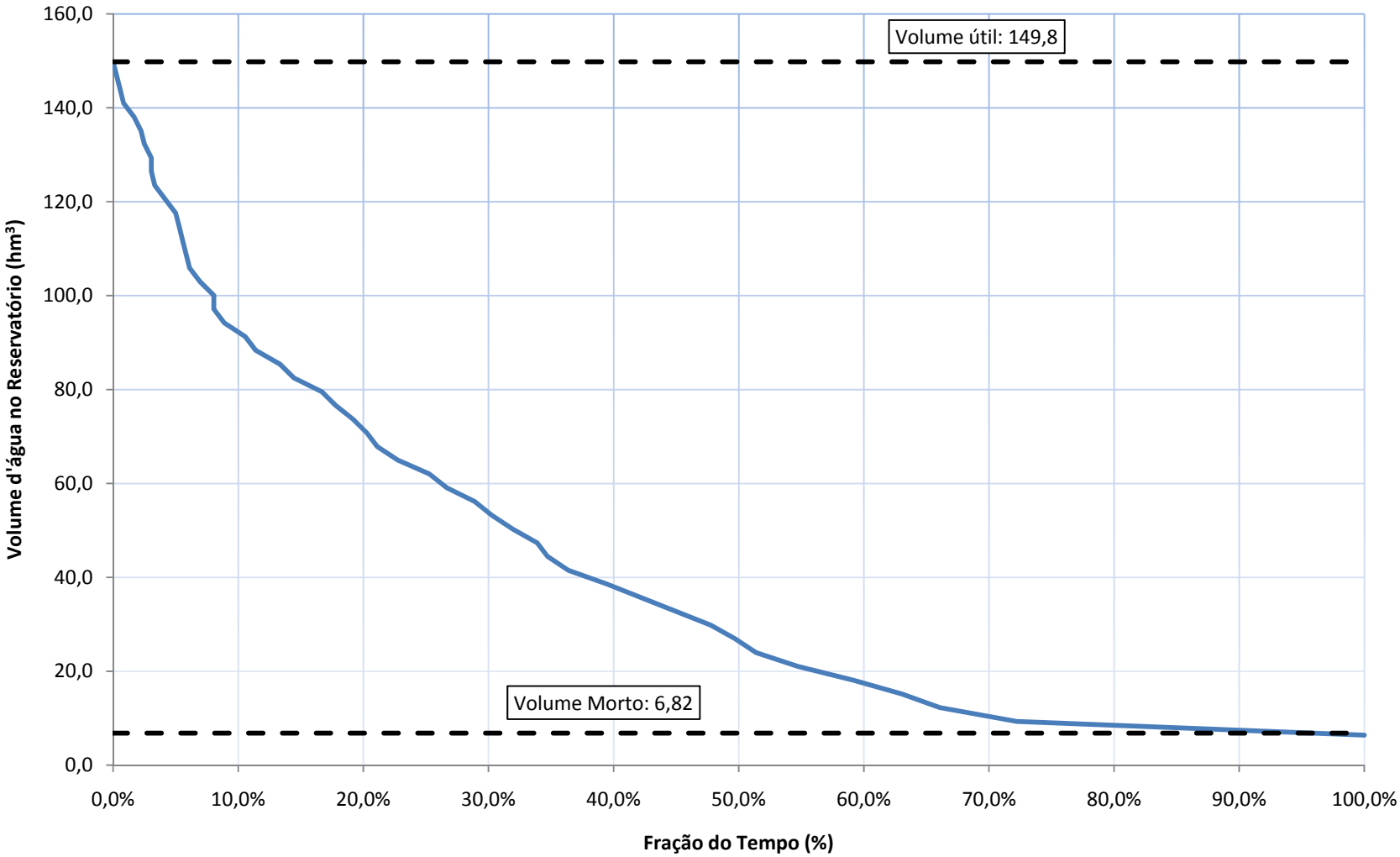

Figura II.35: Cenário GCMA2+3 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

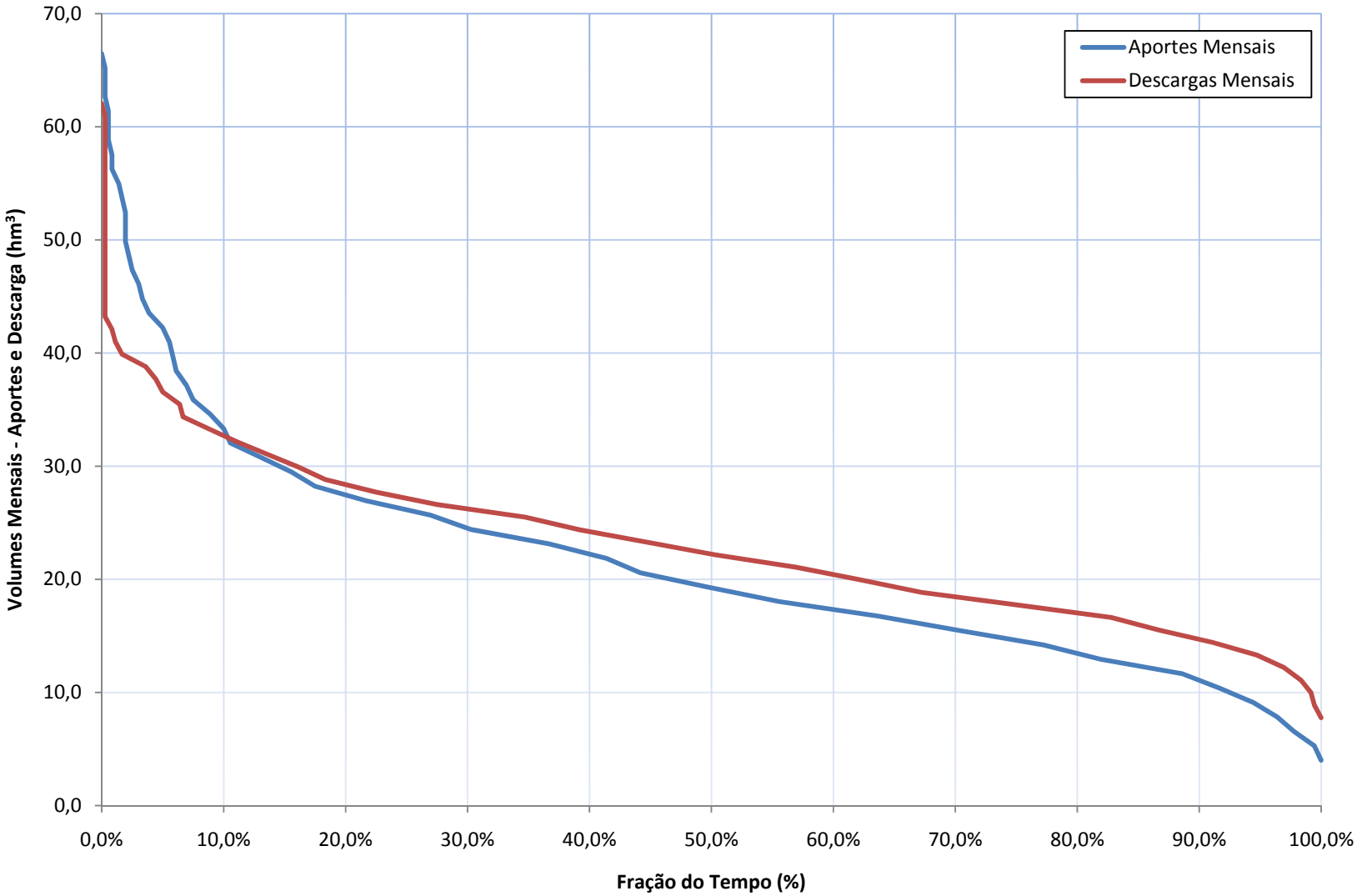

Figura II.36: Cenário GCMA2+3 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

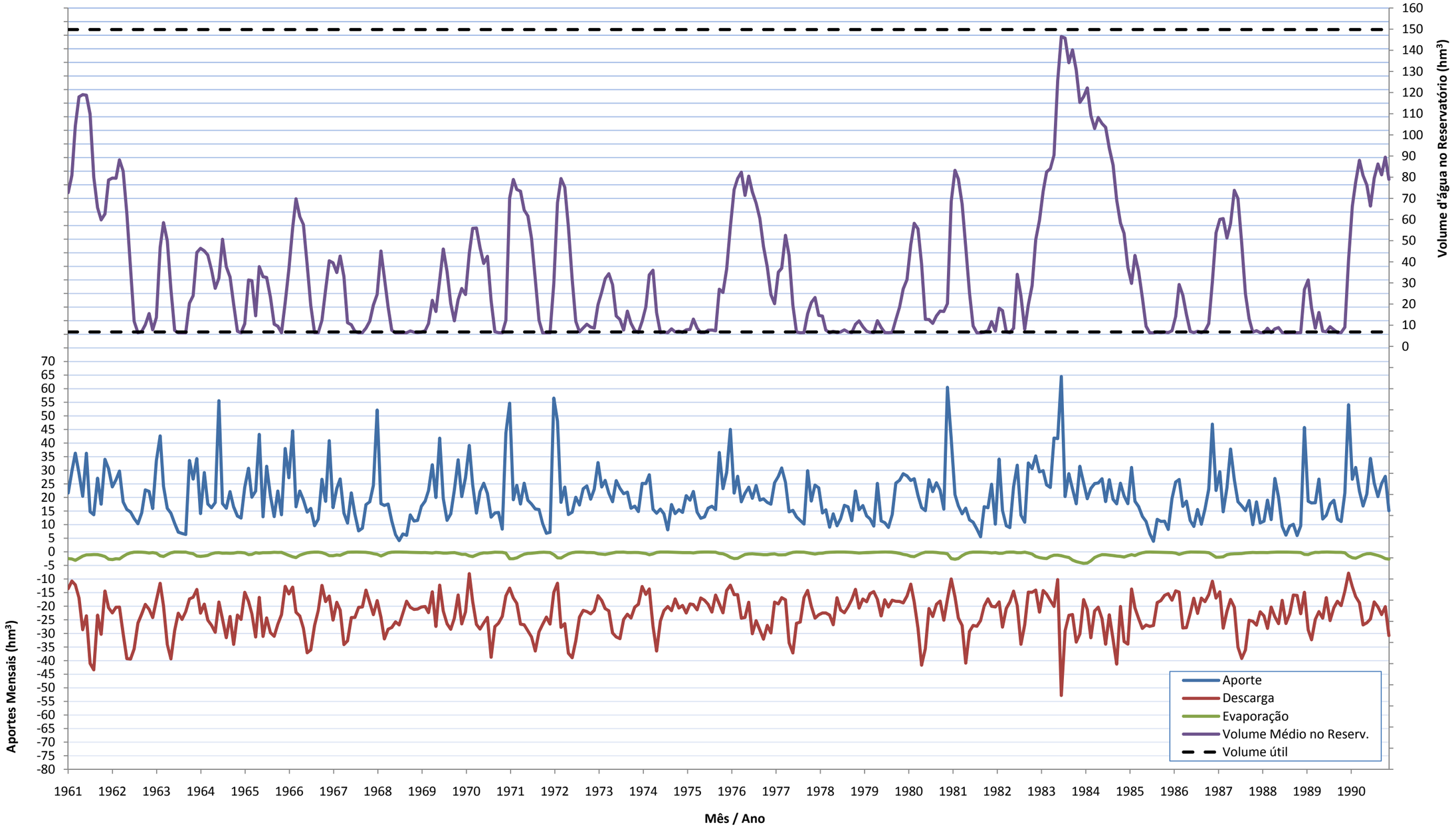

Figura II.37: Cenário GCMA2+4 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.

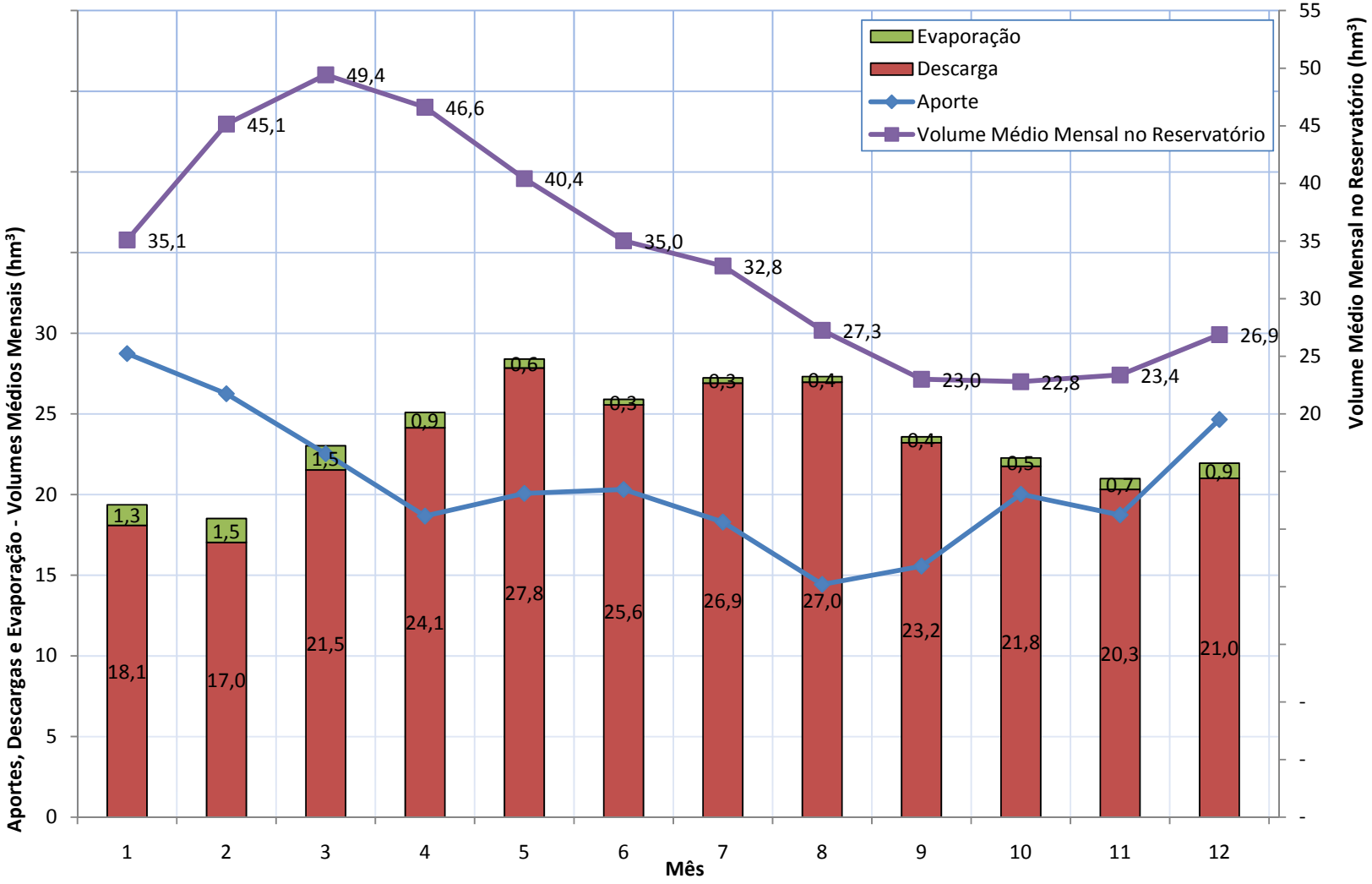

Figura II.38: Cenário GCMA2+4 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes médios mensais no sistema de reservatórios.

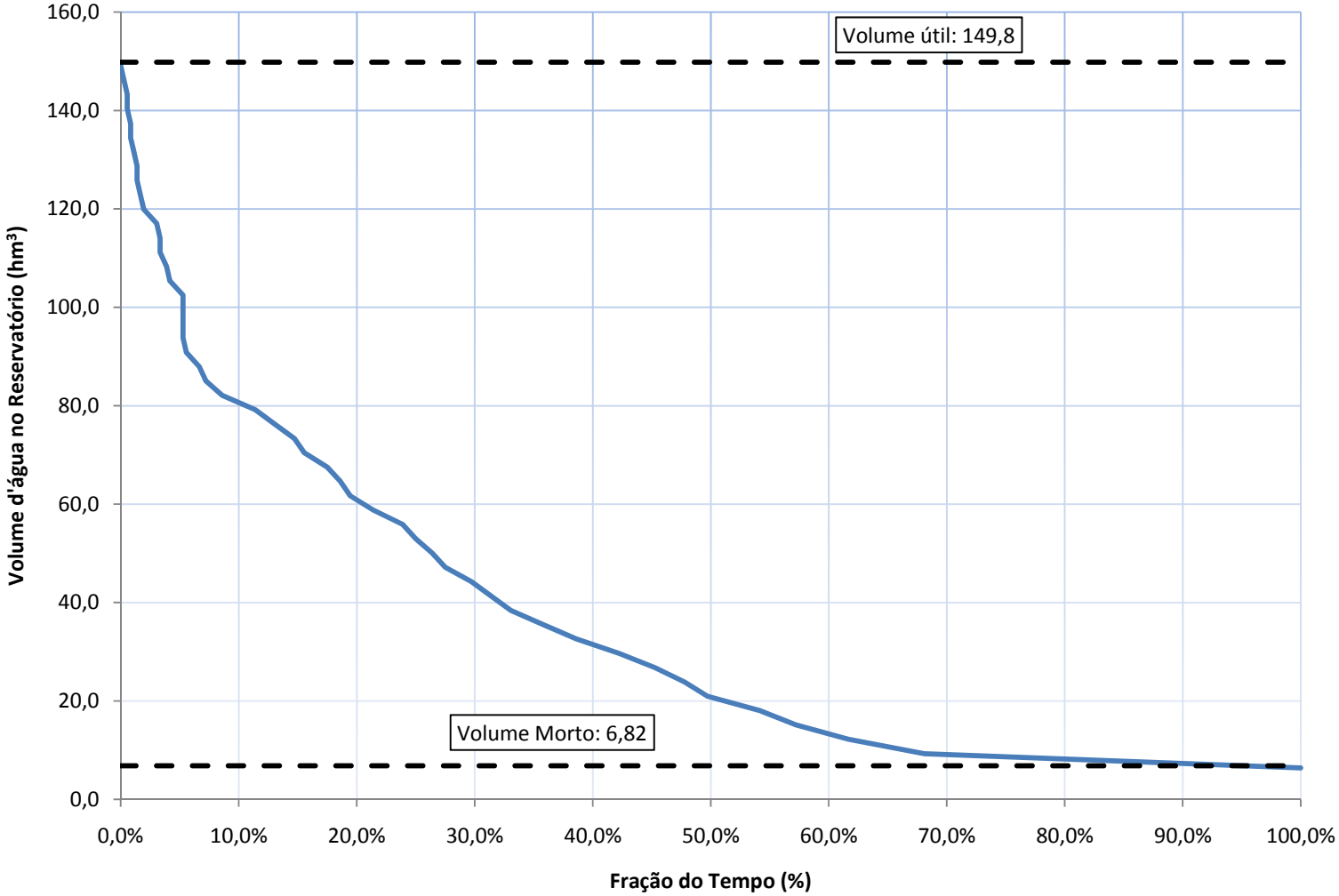

Figura II.39: Cenário GCMA2+4 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

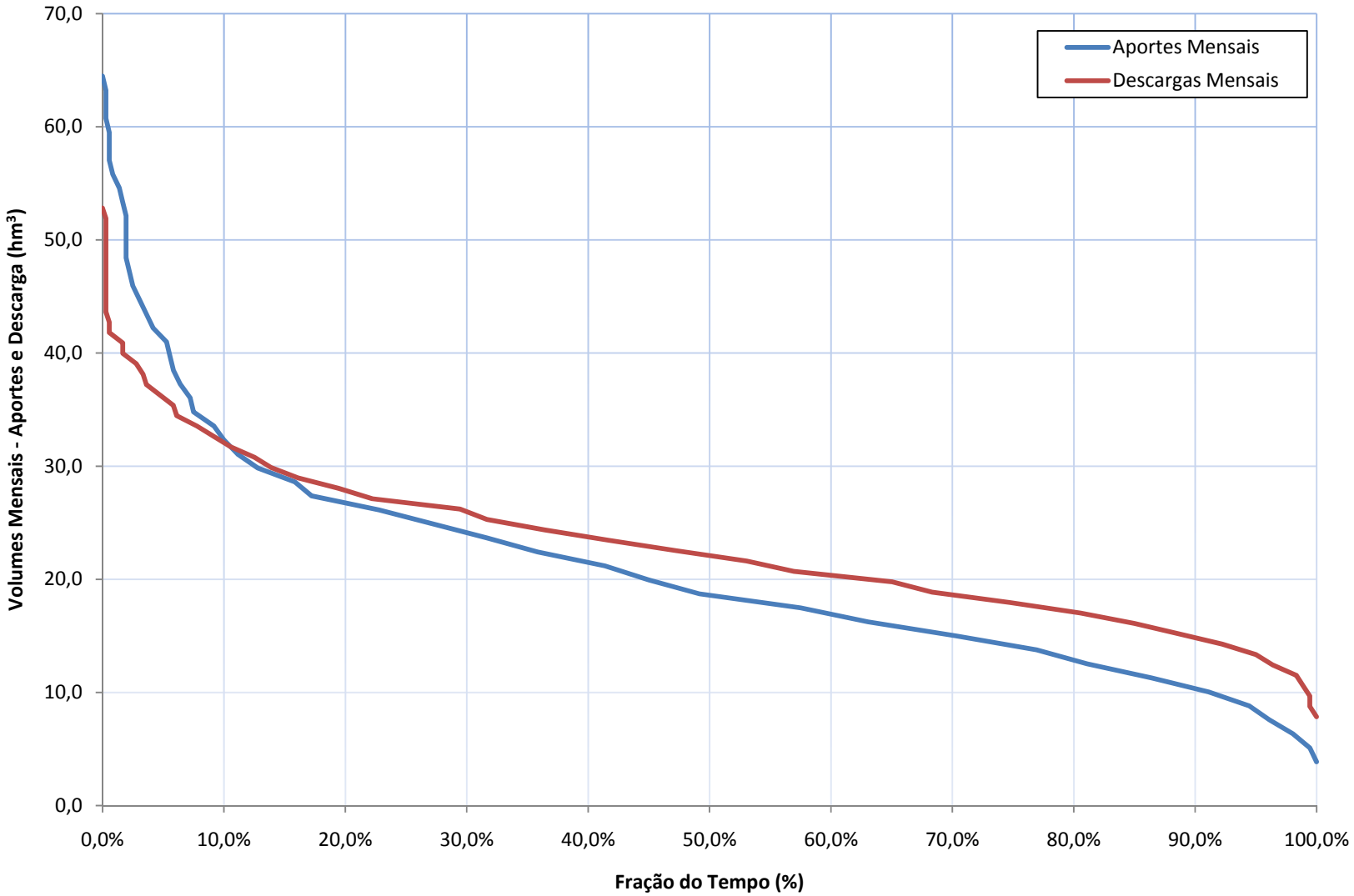

Figura II.40: Cenário GCMA2+4 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

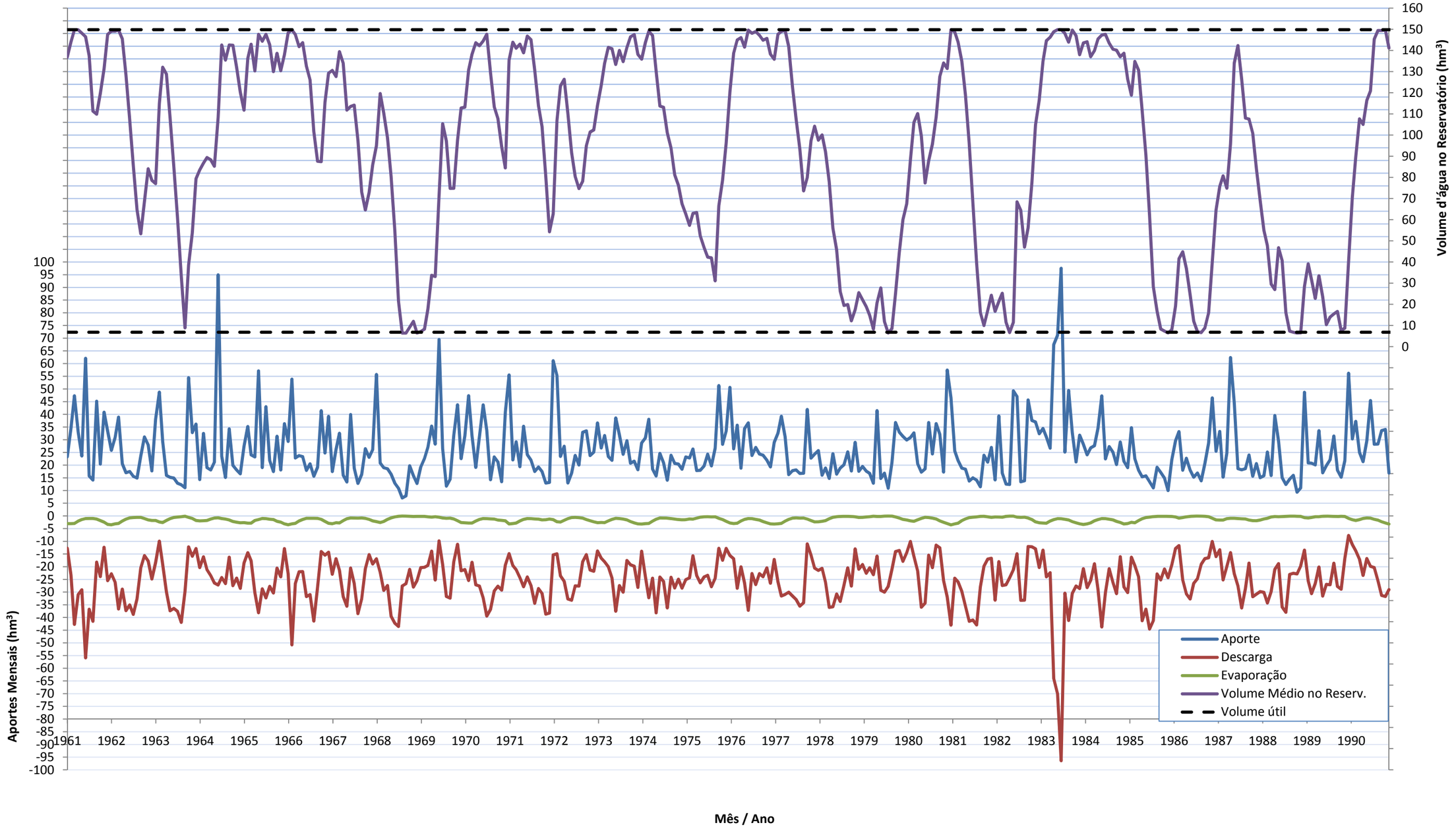

Figura II.41: Cenário HADA2+1 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.

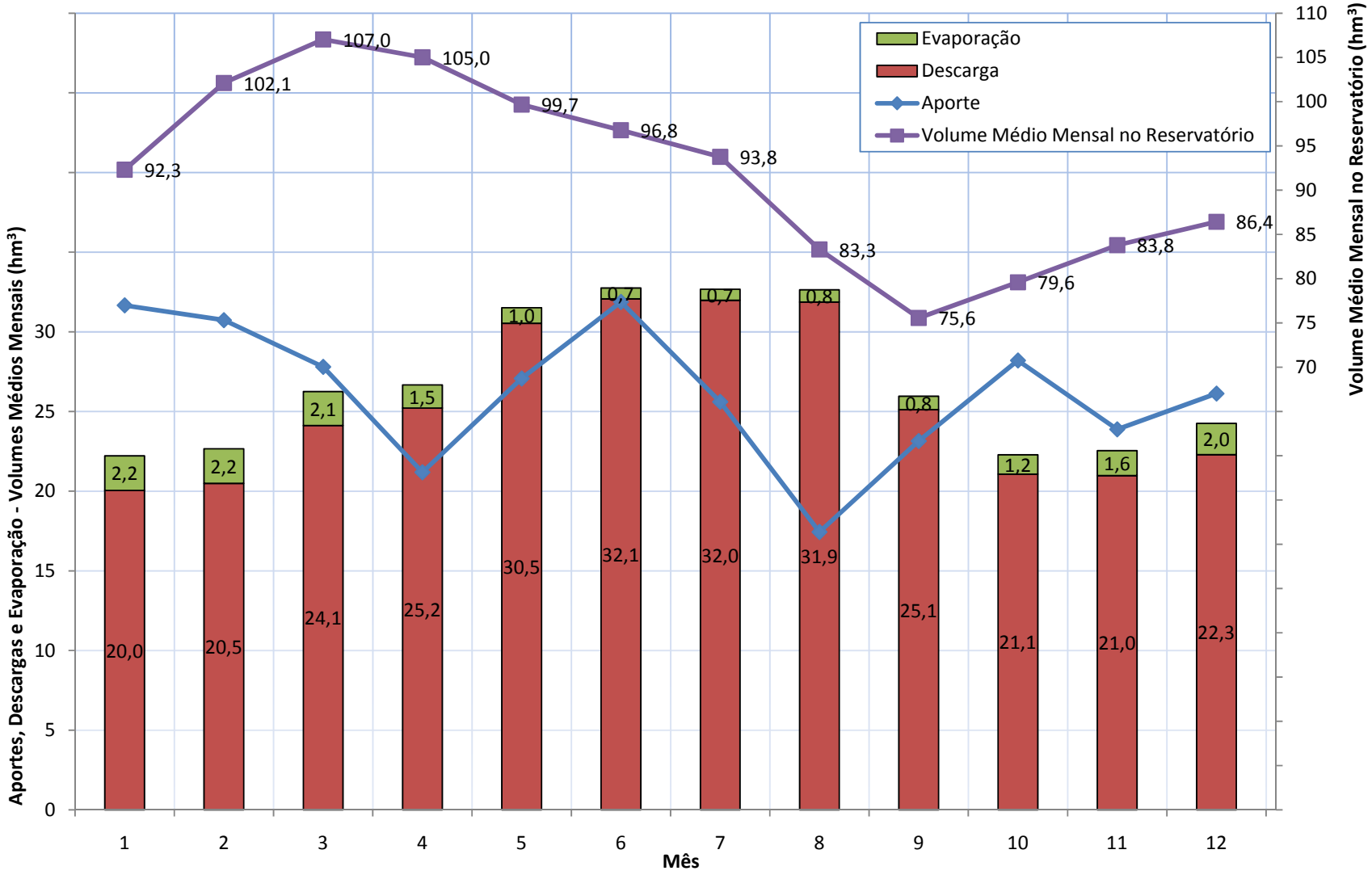

Figura II.42: Cenário HADA2+1 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes médios mensais no sistema de reservatórios.

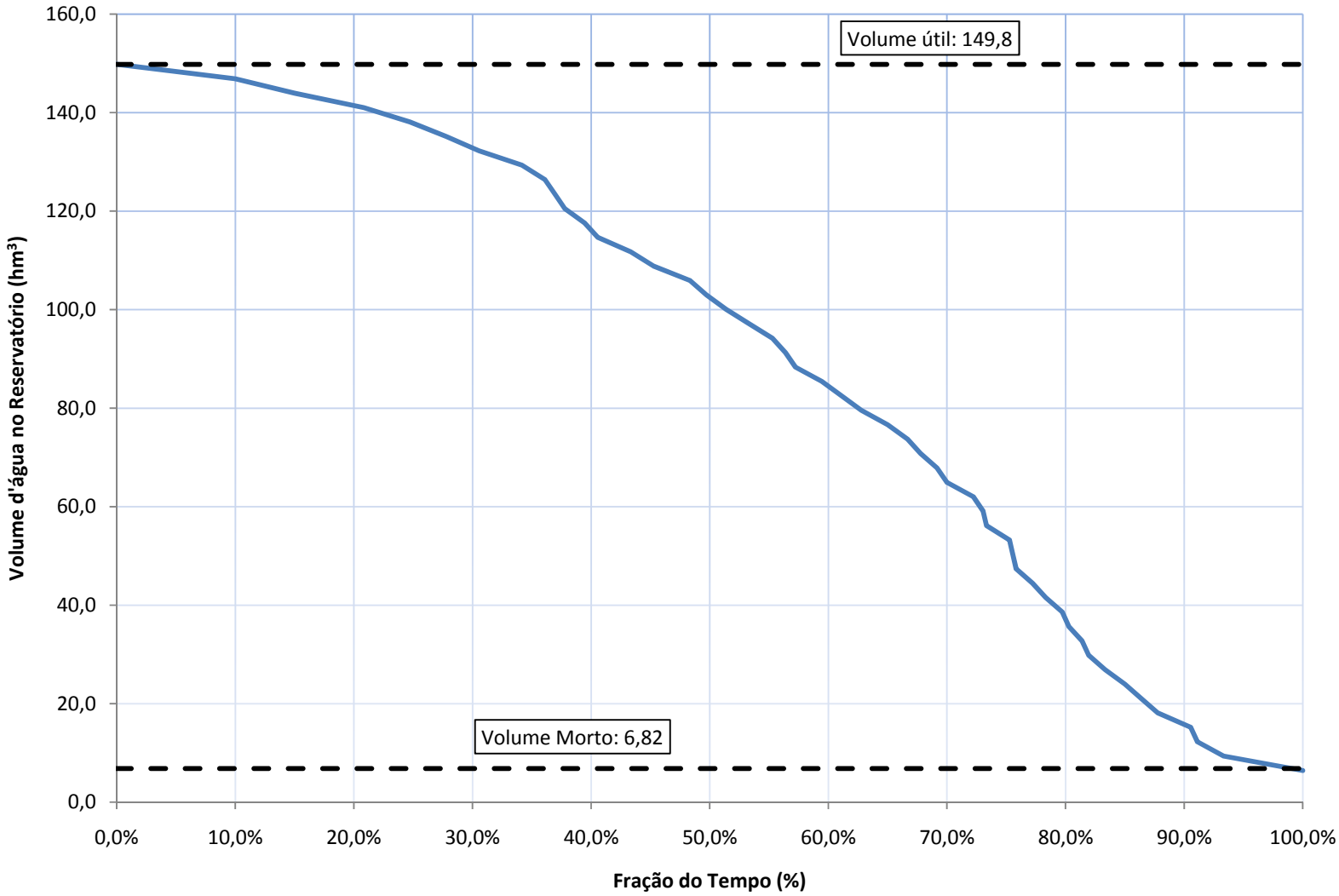

Figura II.43: Cenário HADA2+1 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

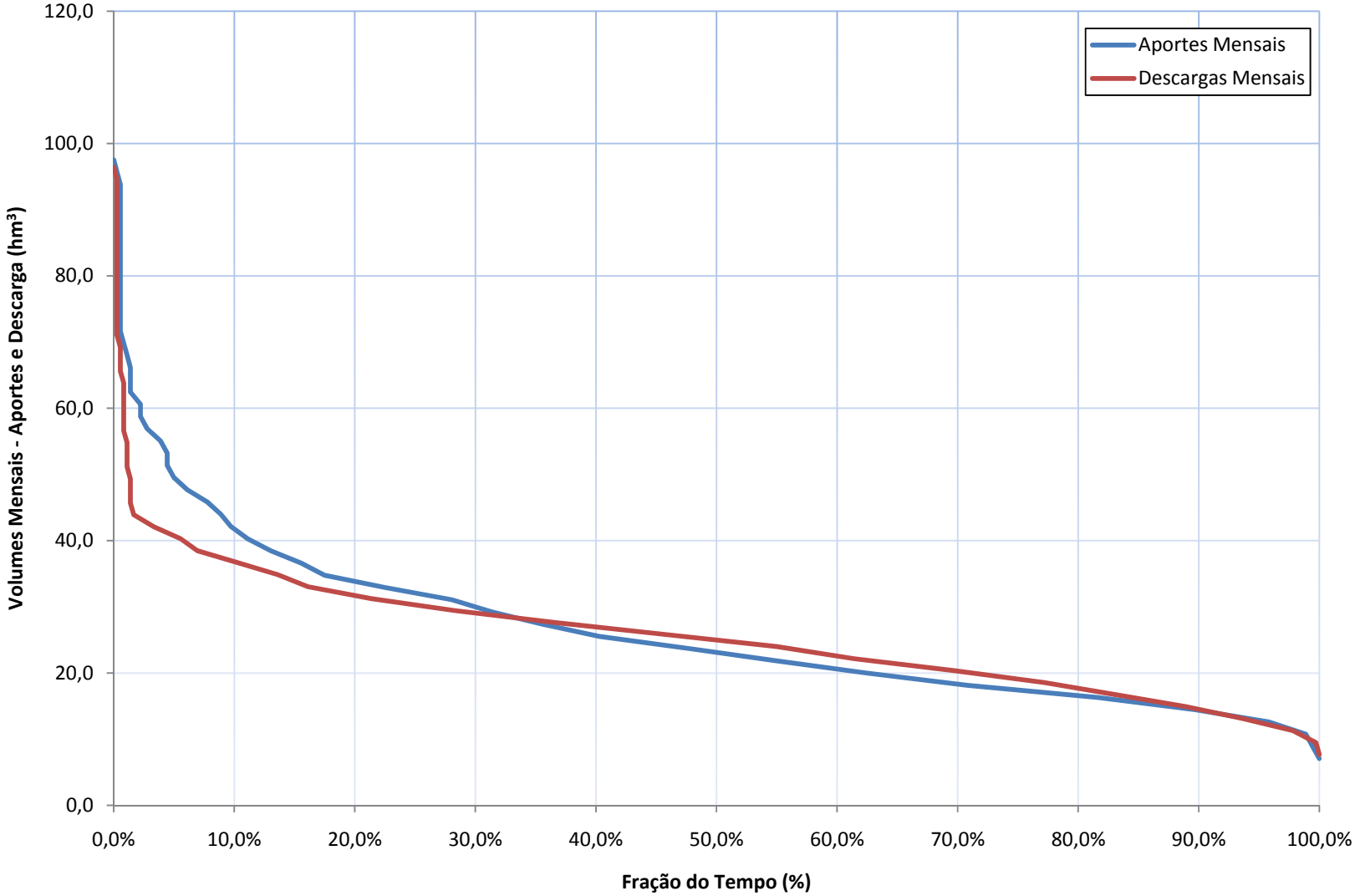

Figura II.44: Cenário HADA2+1 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

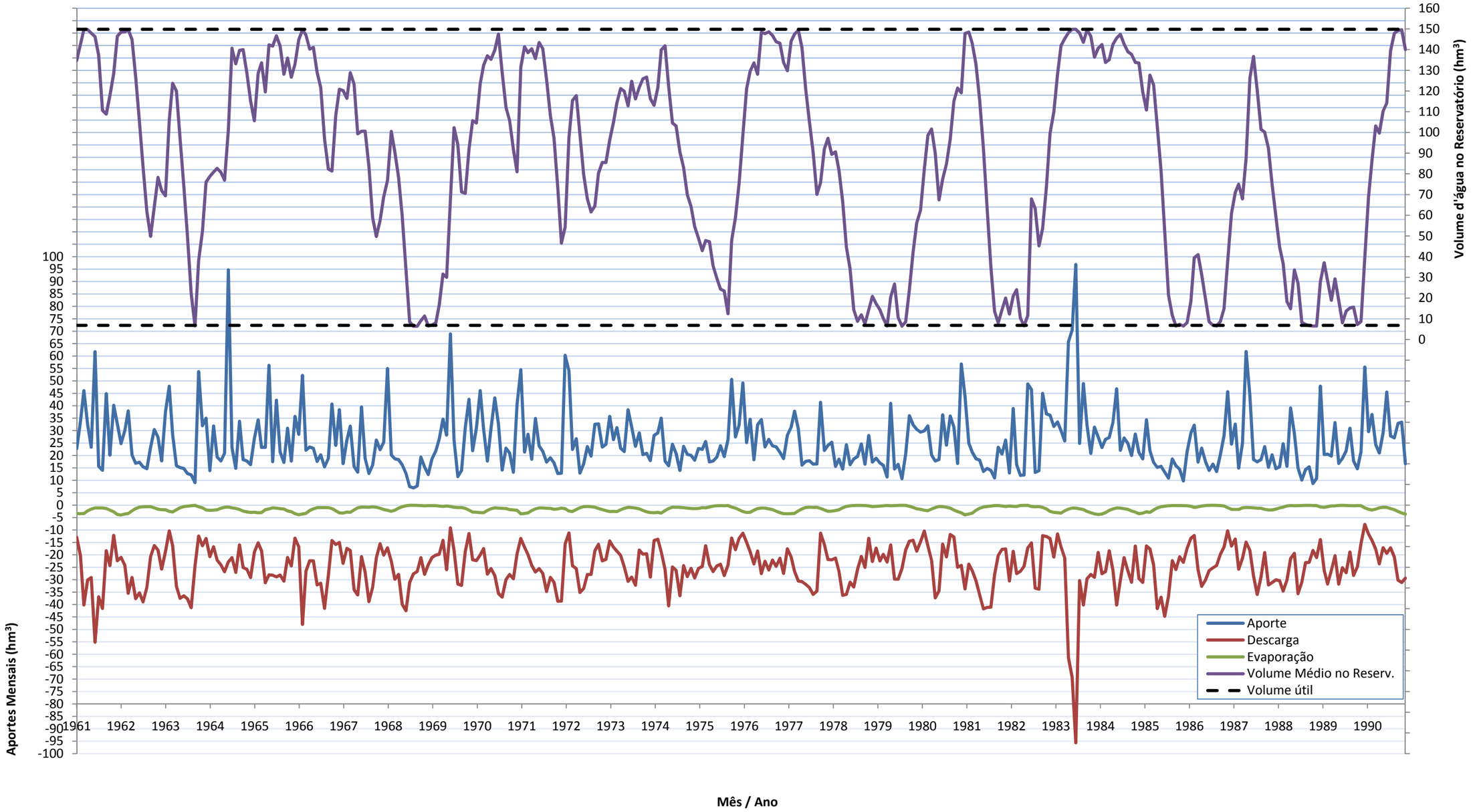

Figura II.45: Cenário HADA2+2 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.

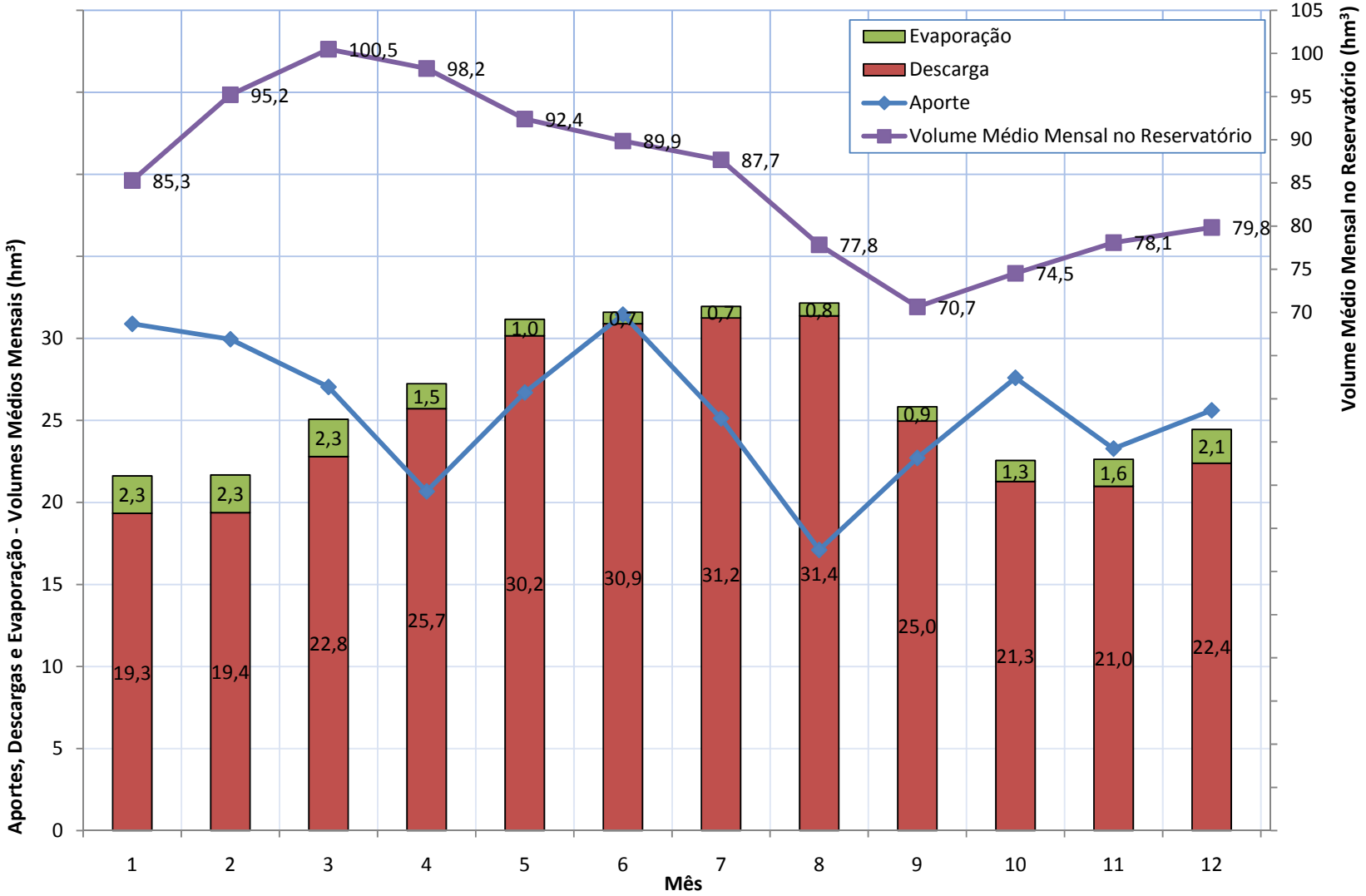

Figura II.46: Cenário HADA2+2 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes médios mensais no sistema de reservatórios.

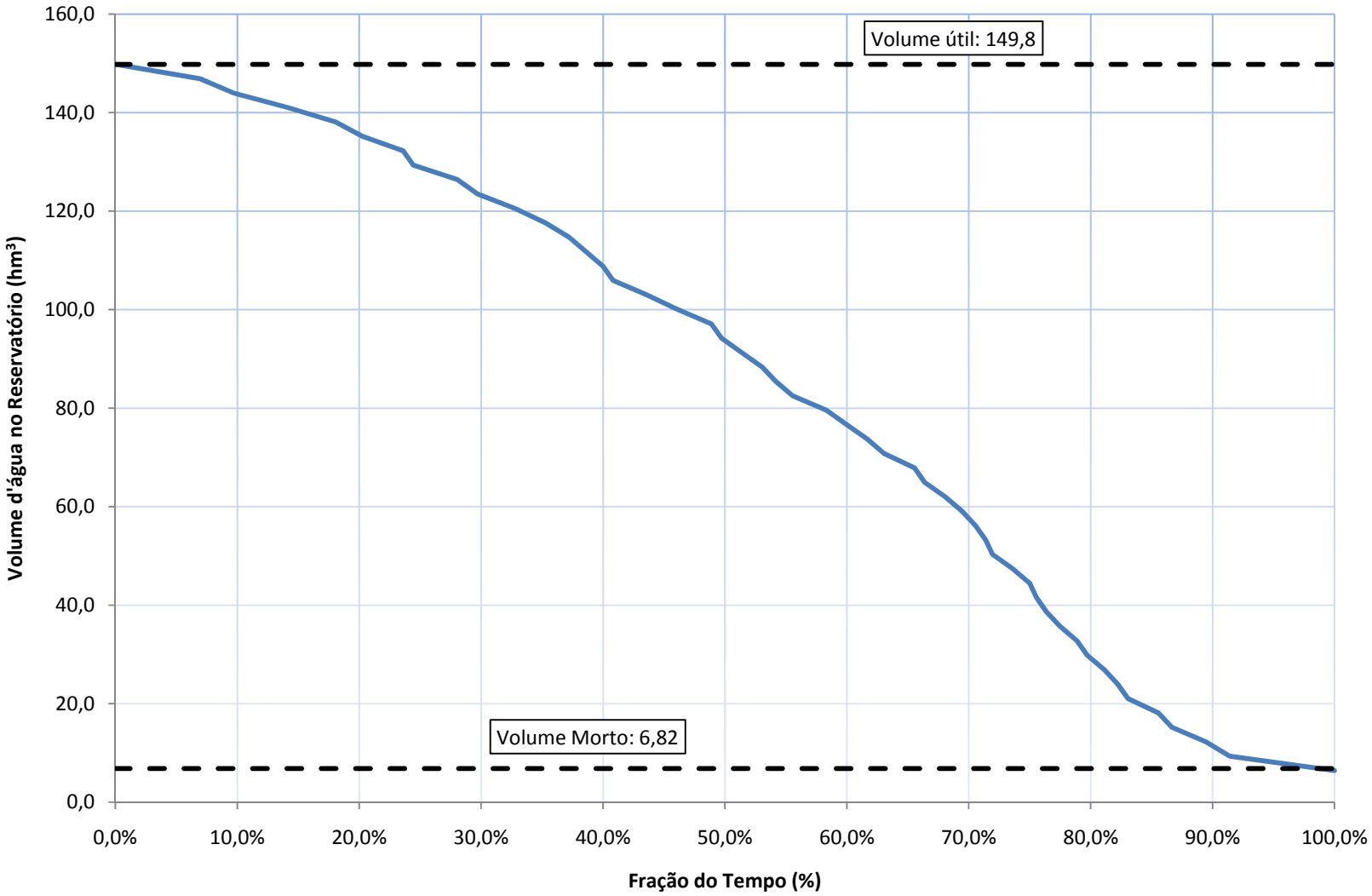

Figura II.47: Cenário HADA2+2 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

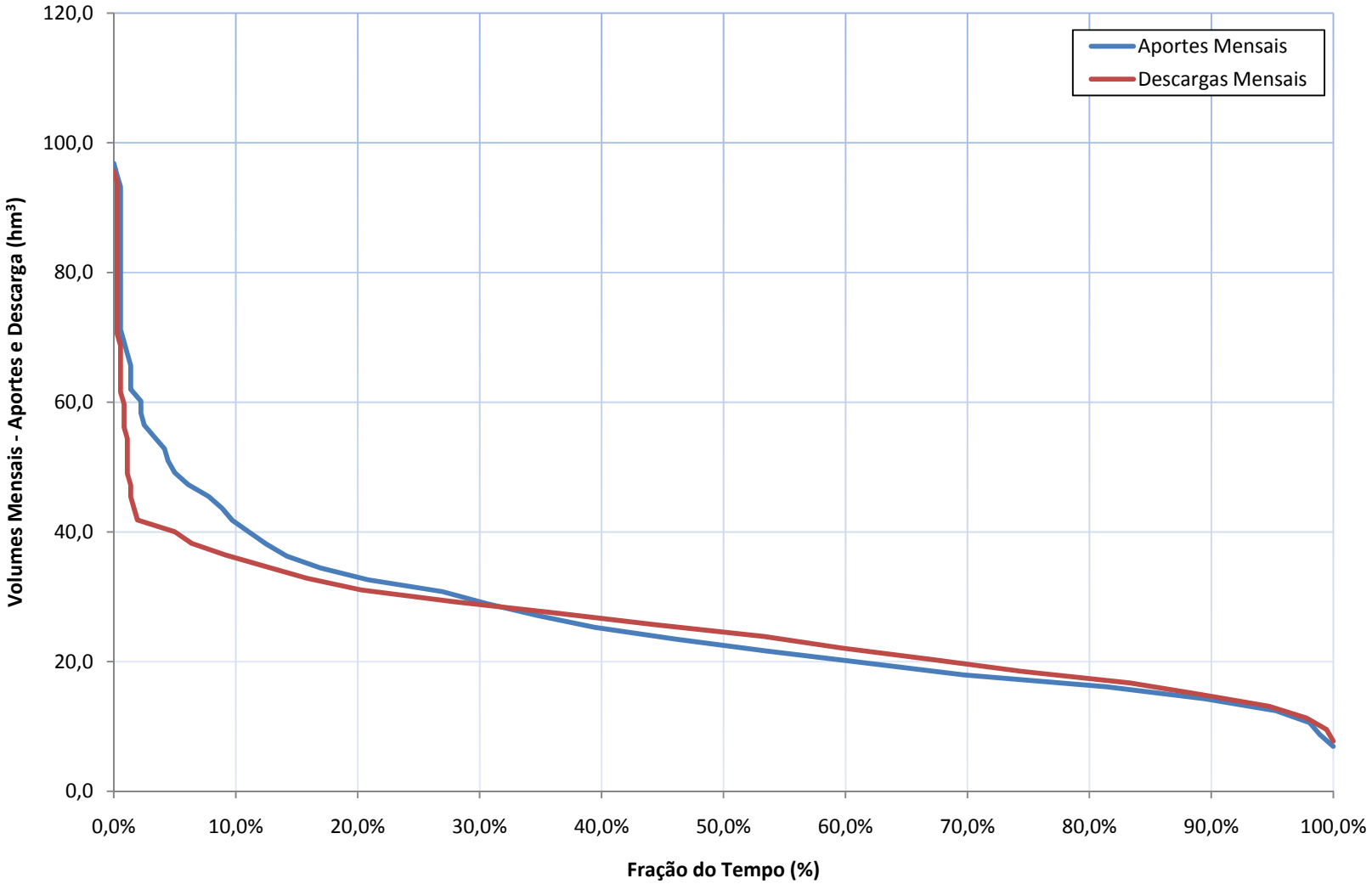

Figura II.48: Cenário HADA2+2 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

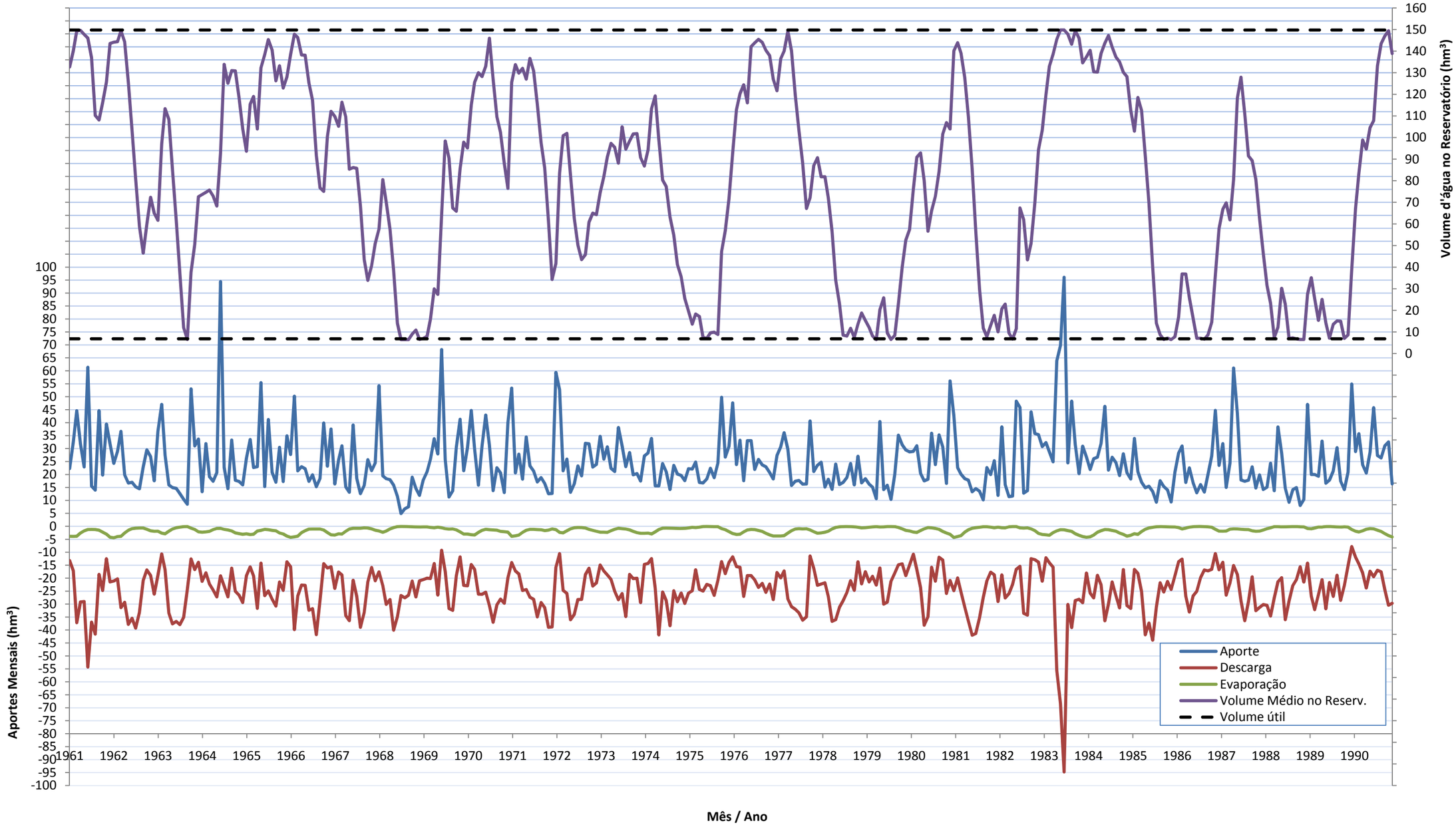

Figura II.49: Cenário HADA2+3 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.

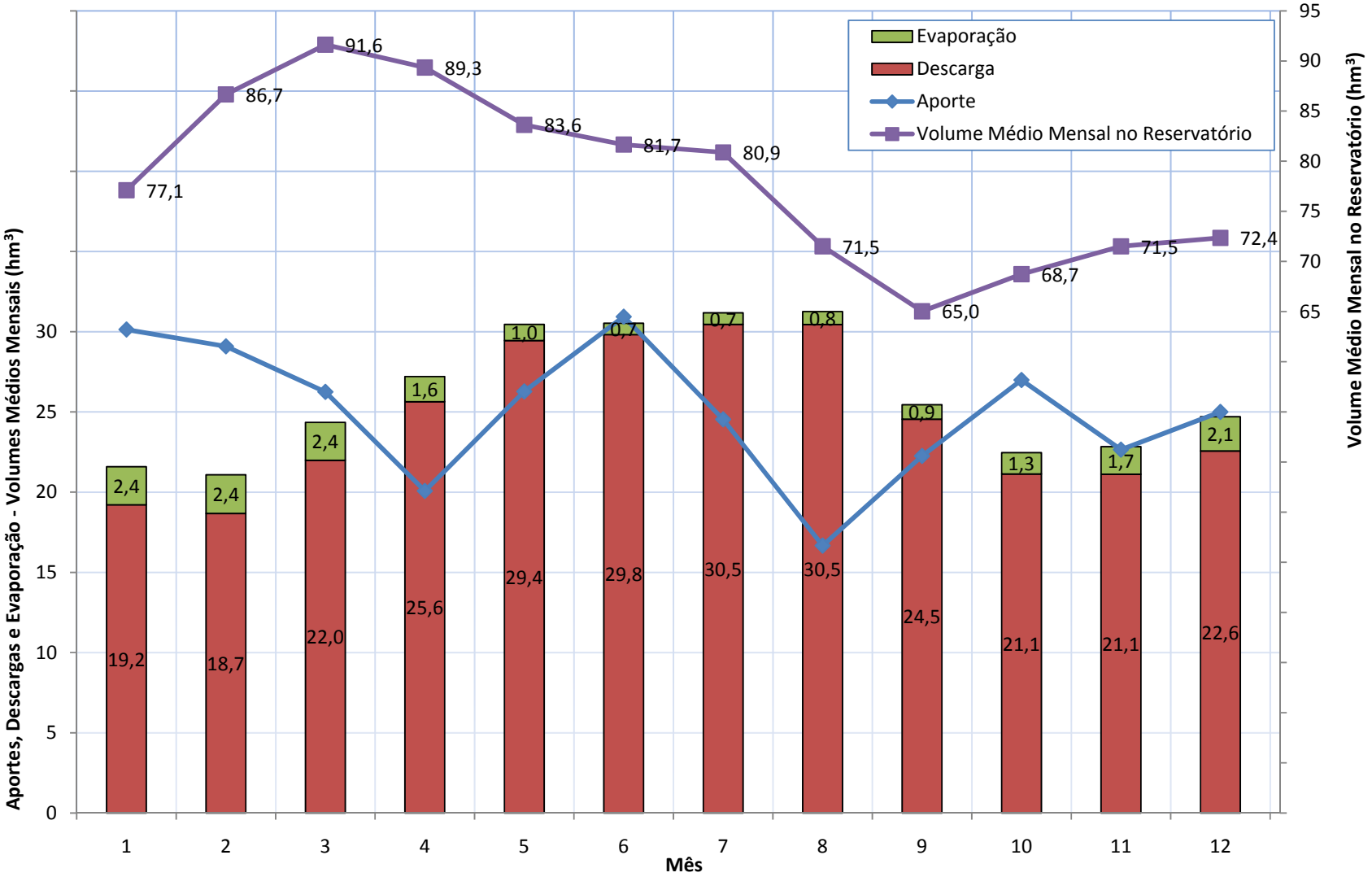

Figura II.50: Cenário HADA2+3 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes medios mensais no sistema de reservatórios.

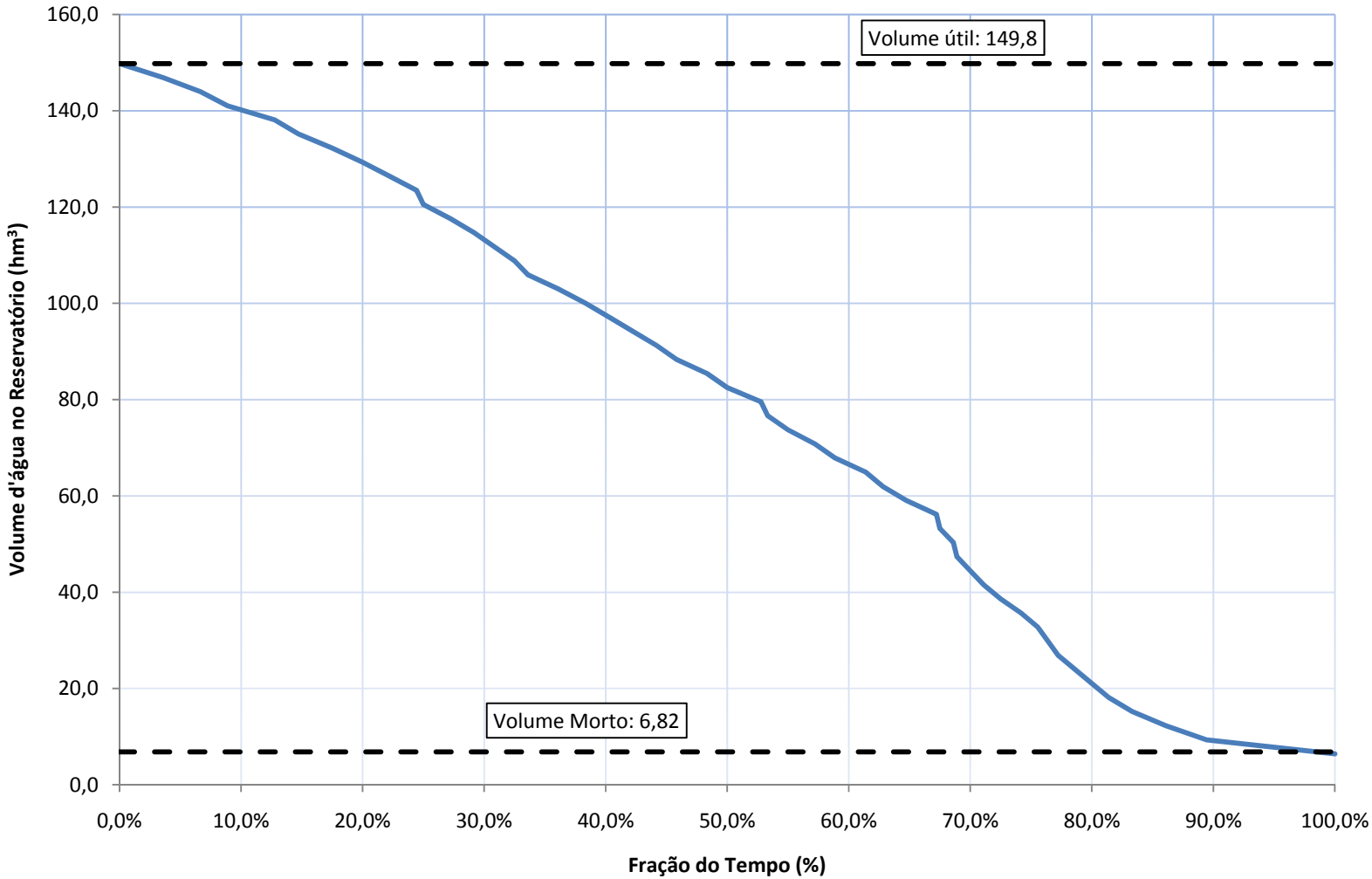

Figura II.51: Cenário HADA2+3 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

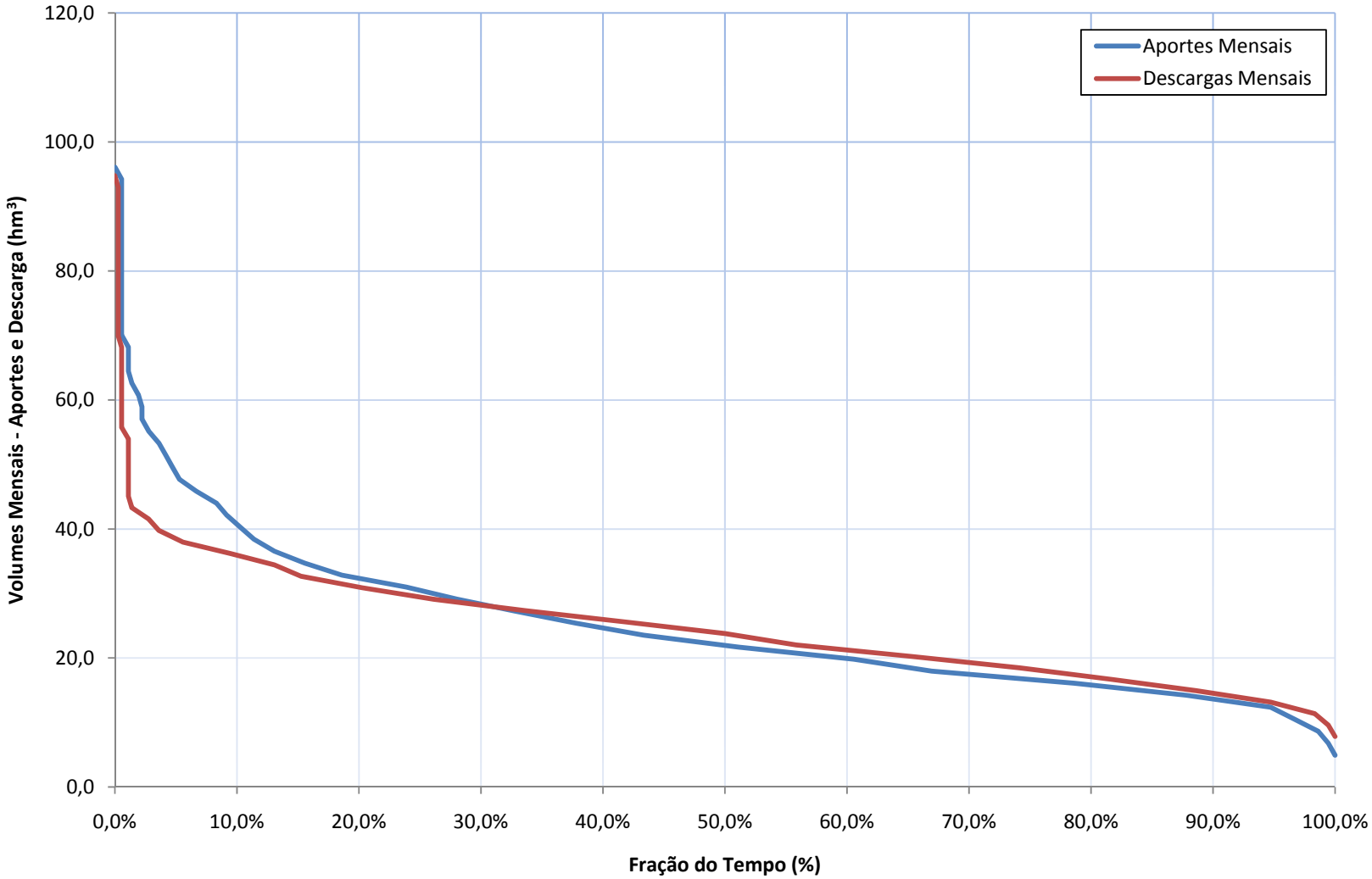

Figura II.52: Cenário HADA2+3 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

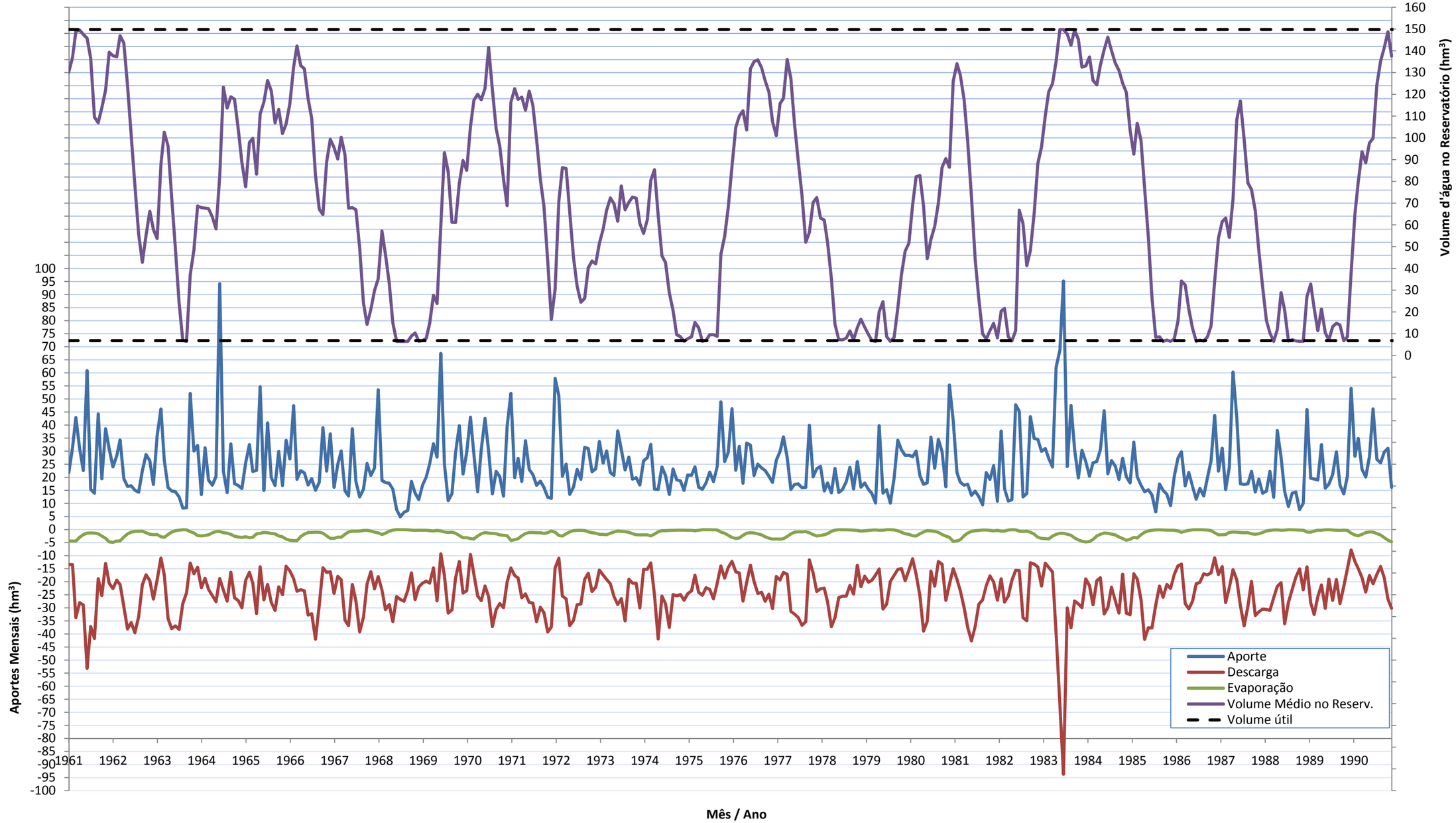

Figura II.53: Cenário HADA2+4 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.

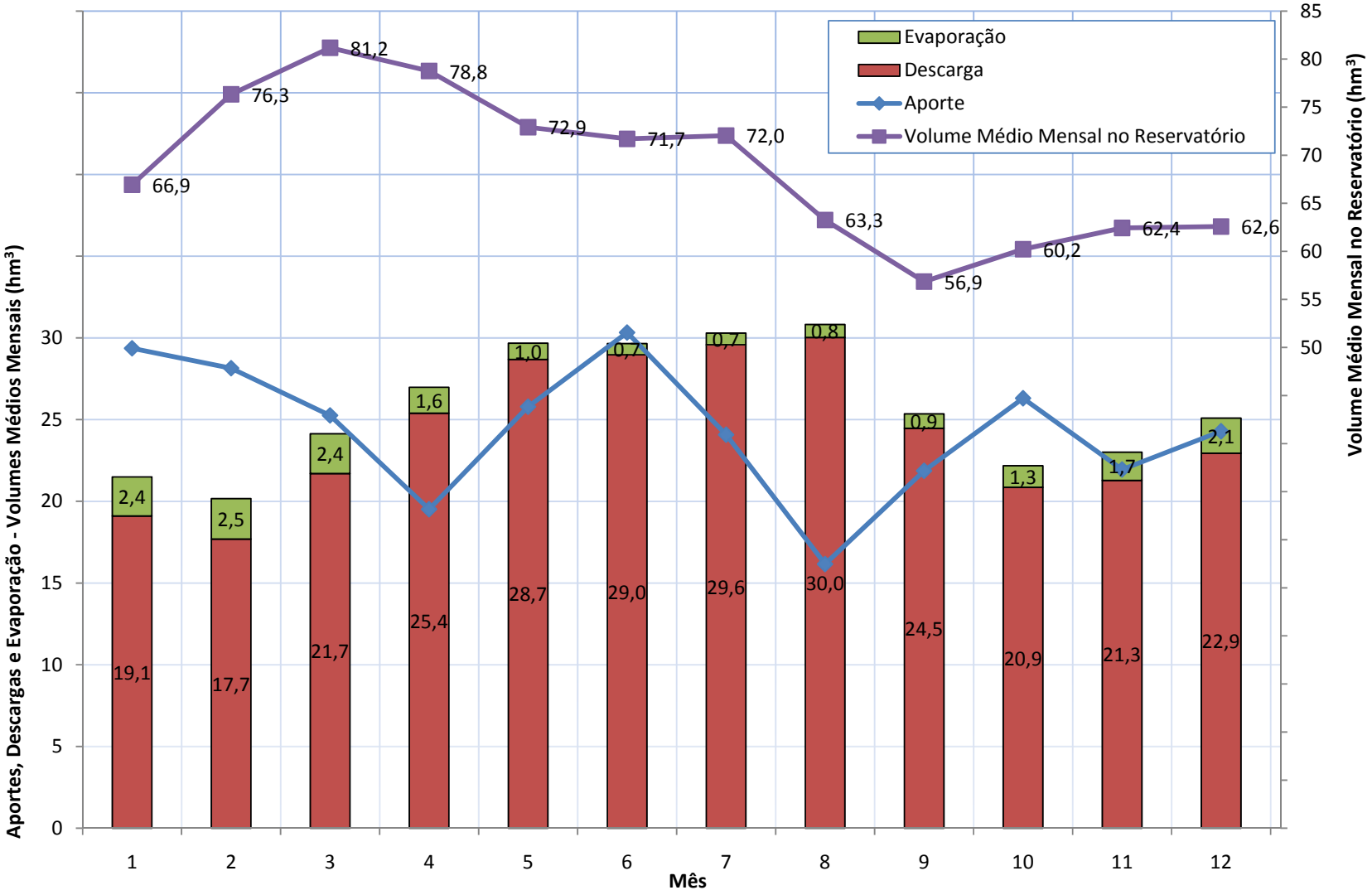

Figura II.54: Cenário HADA2+4 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes médios mensais no sistema de reservatórios.

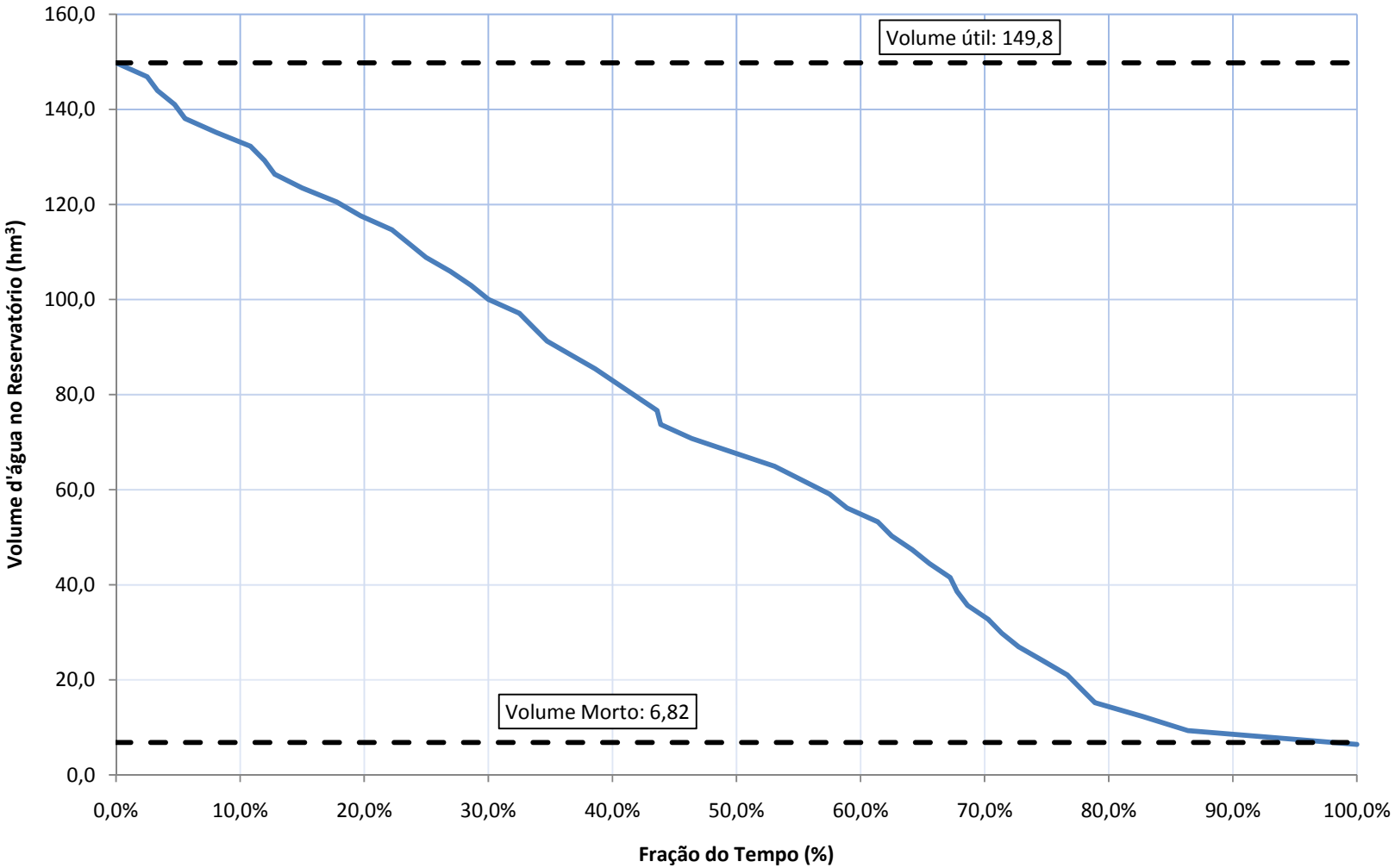

Figura II.55: Cenário HADA2+4 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

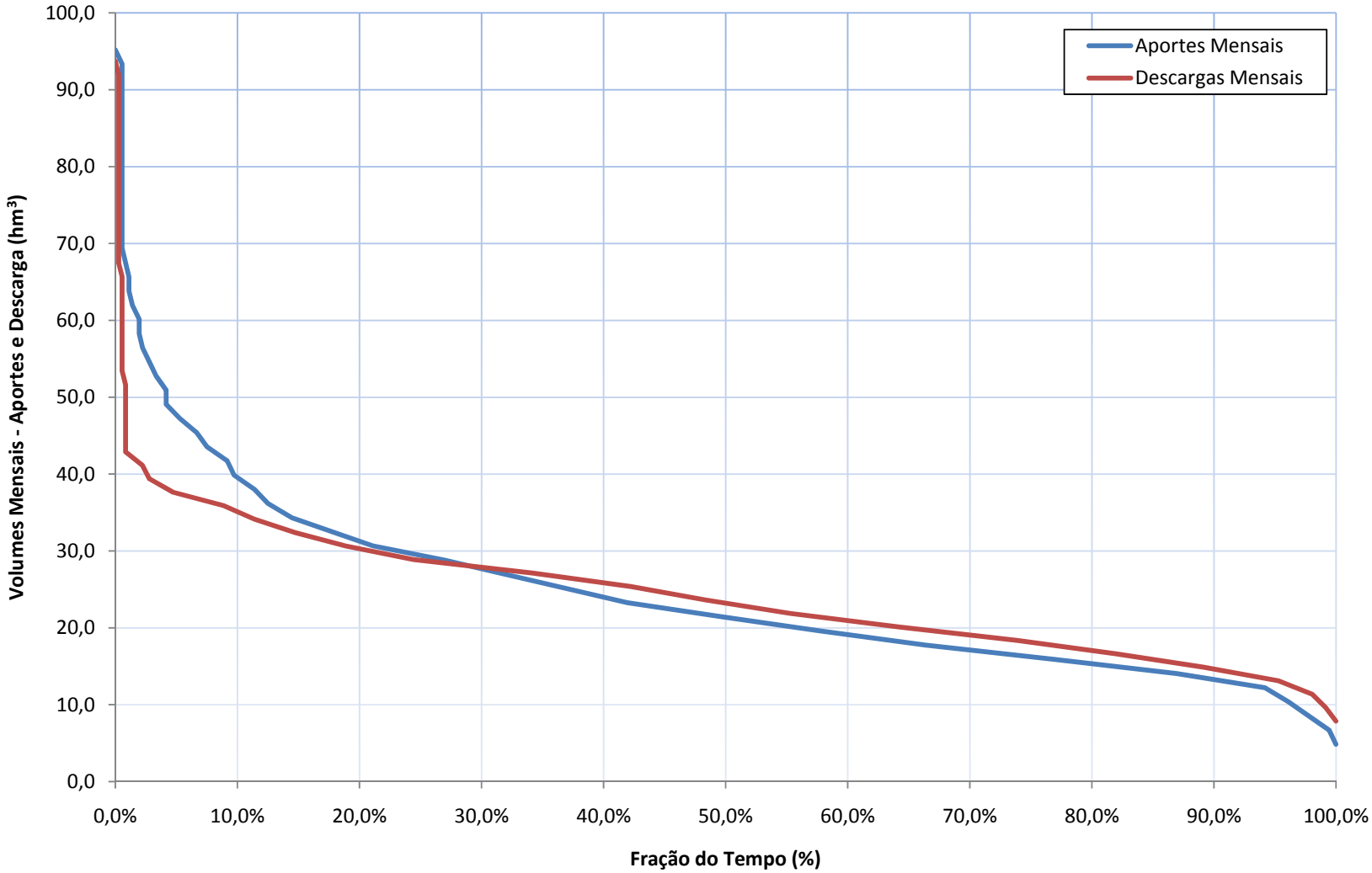

Figura II.56: Cenário HADA2+4 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

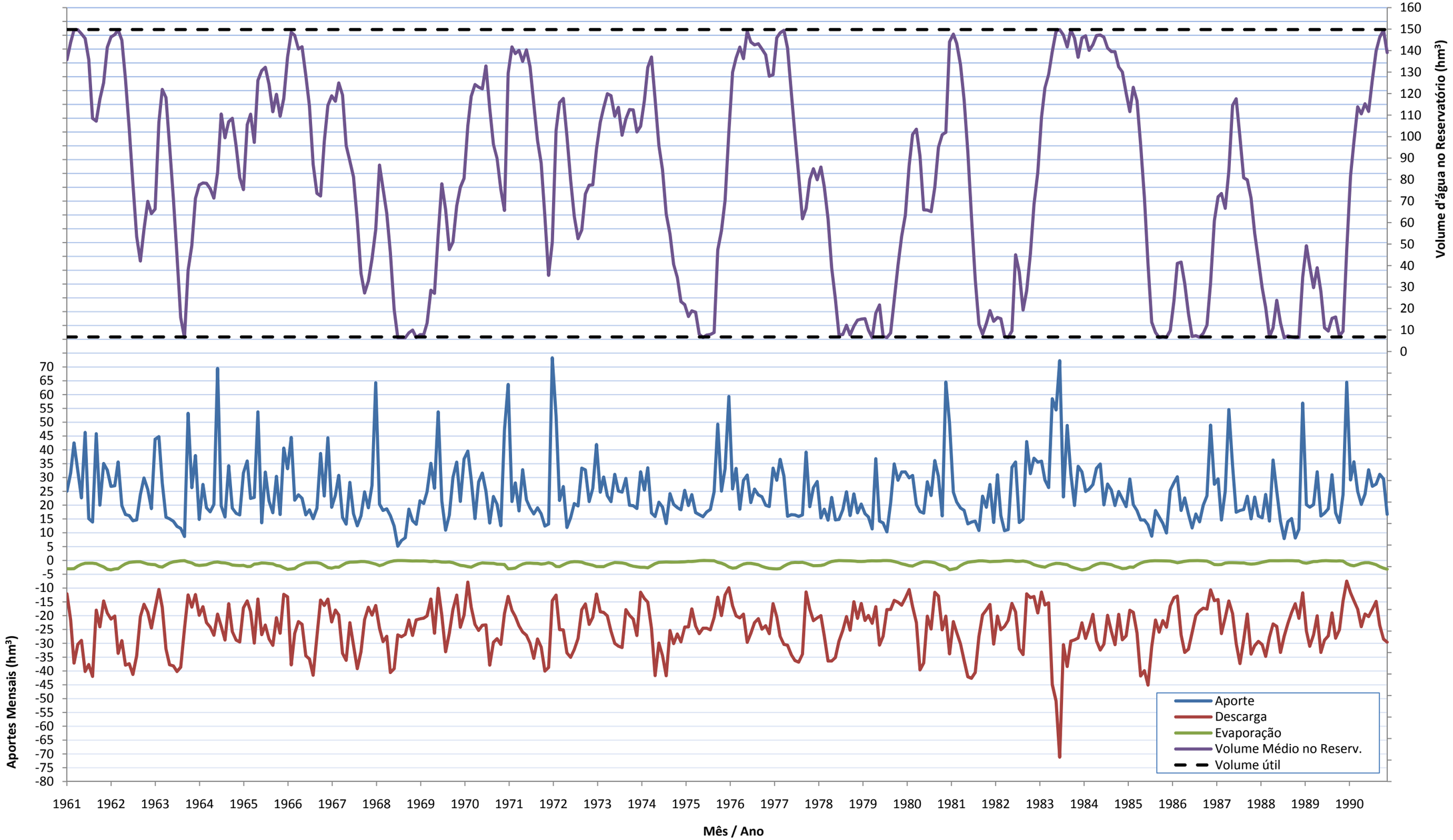

Figura II.57: Cenário HADB2+1 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatorios.

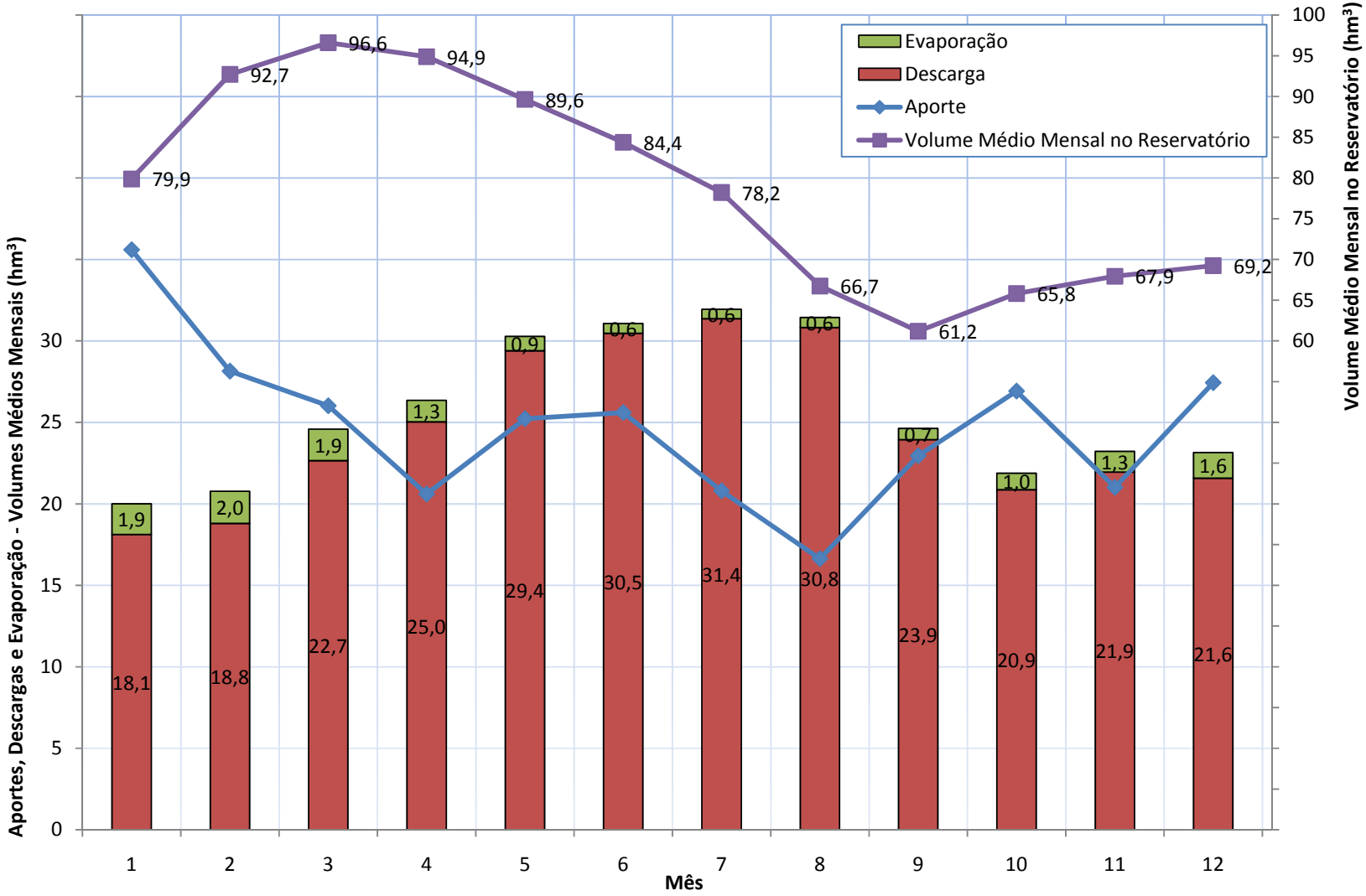

Figura II.58: Cenário HADB2+1 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes médios mensais no sistema de reservatórios.

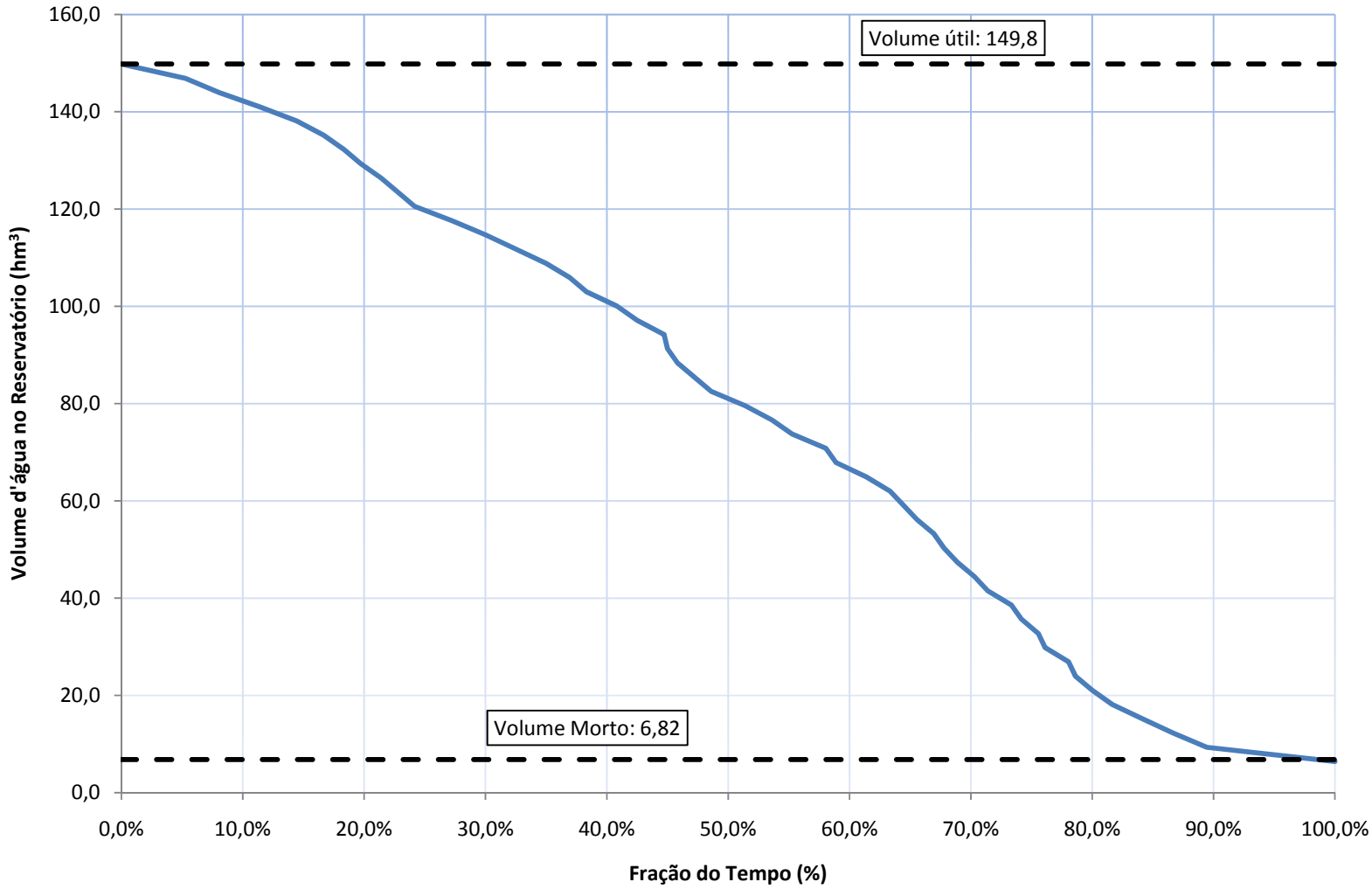

Figura II.59: Cenário HADB2+1 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

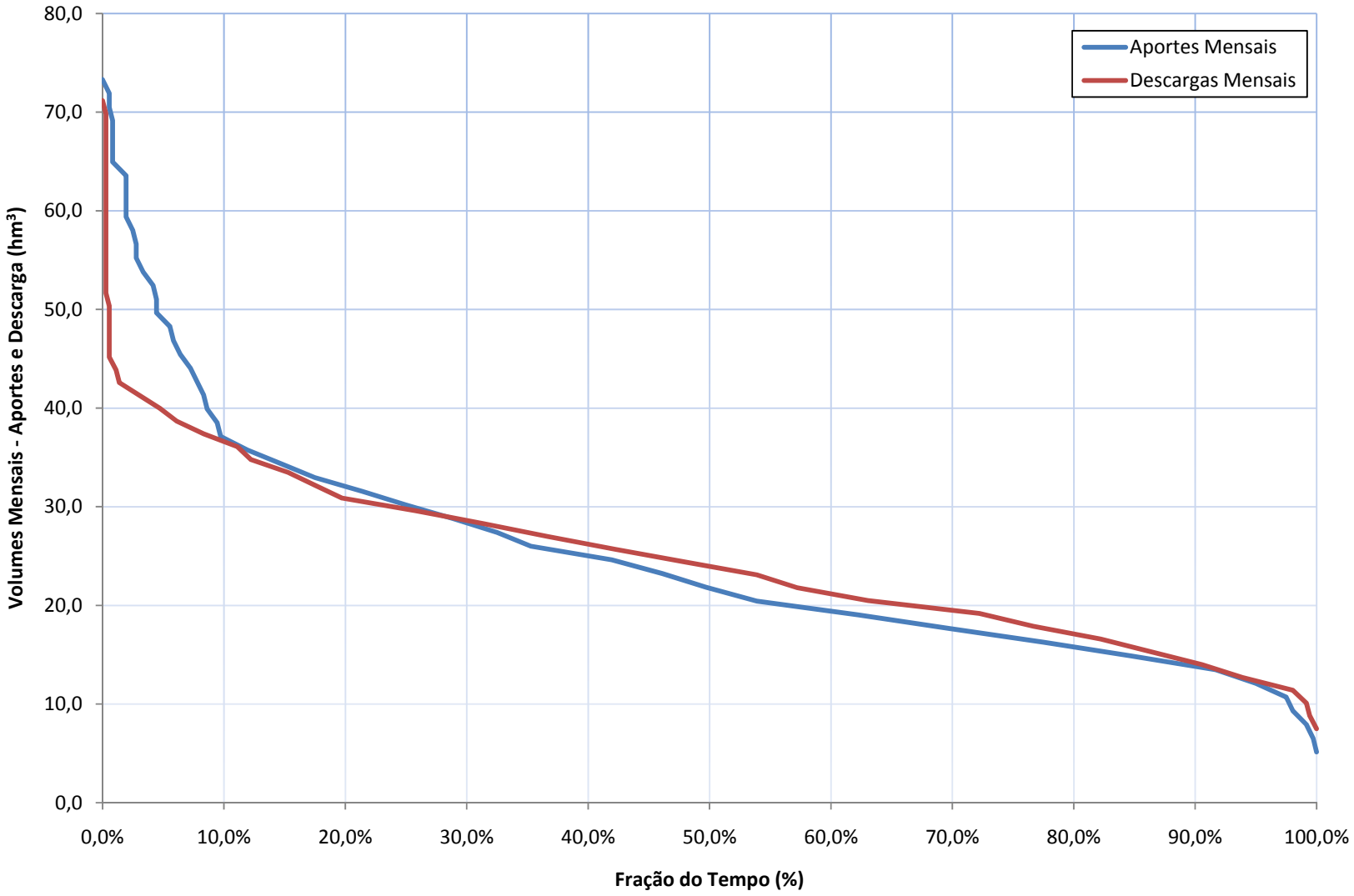

Figura II.60: Cenário HADB2+1 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

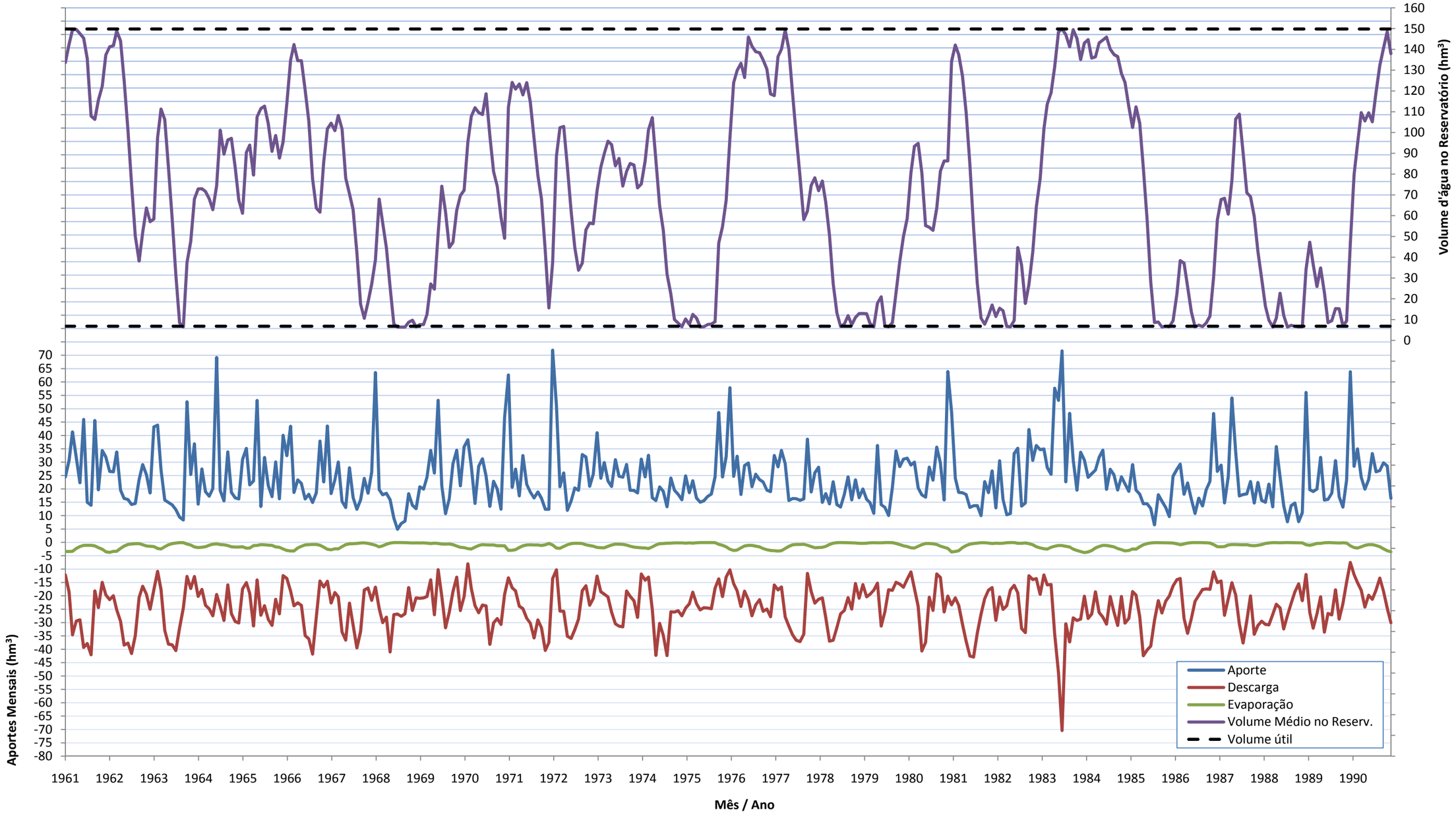

Figura II.61: Cenário HADB2+2 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.

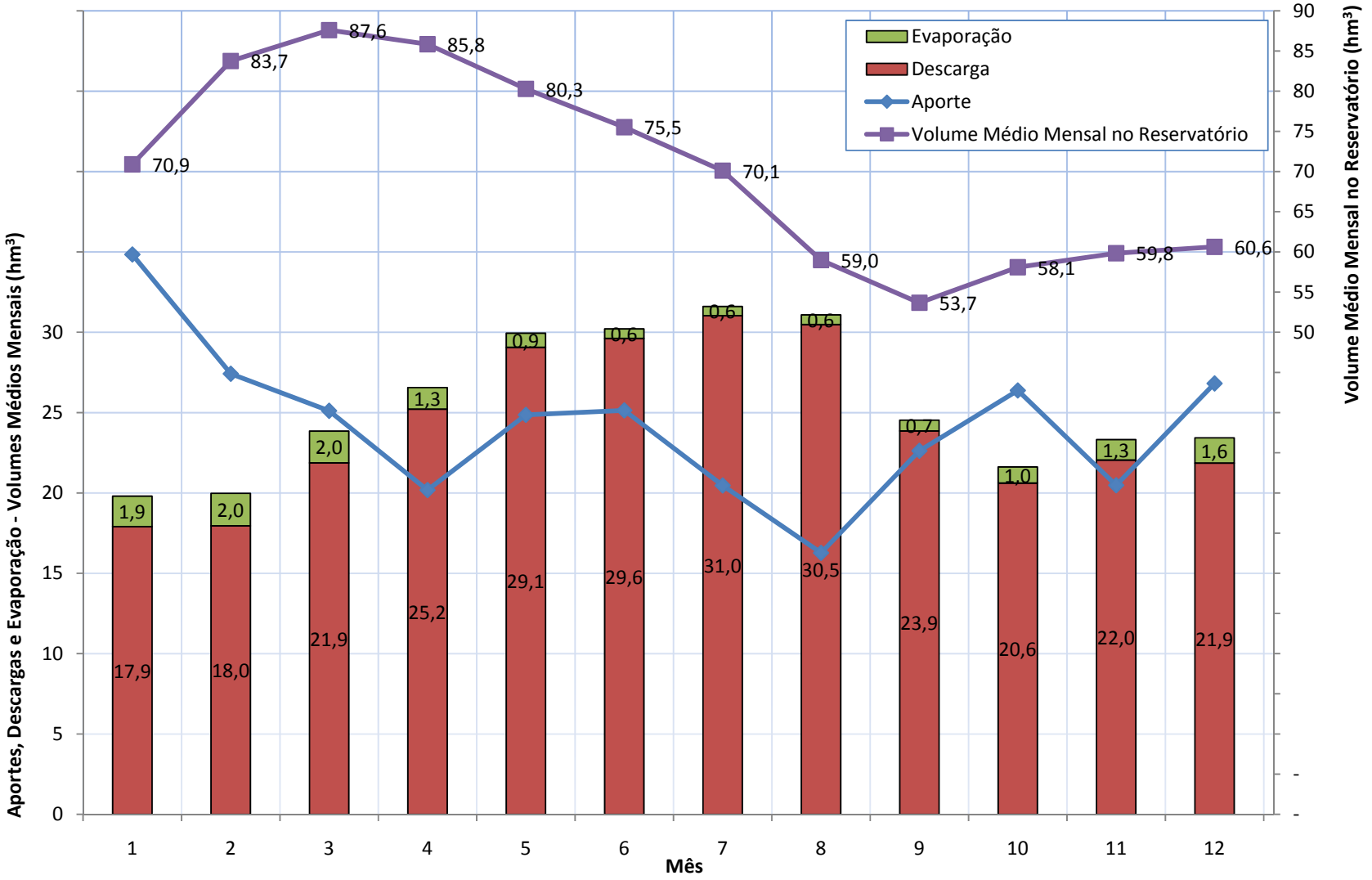

Figura II.62: Cenário HADB2+2 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes médios mensais no sistema de reservatórios.

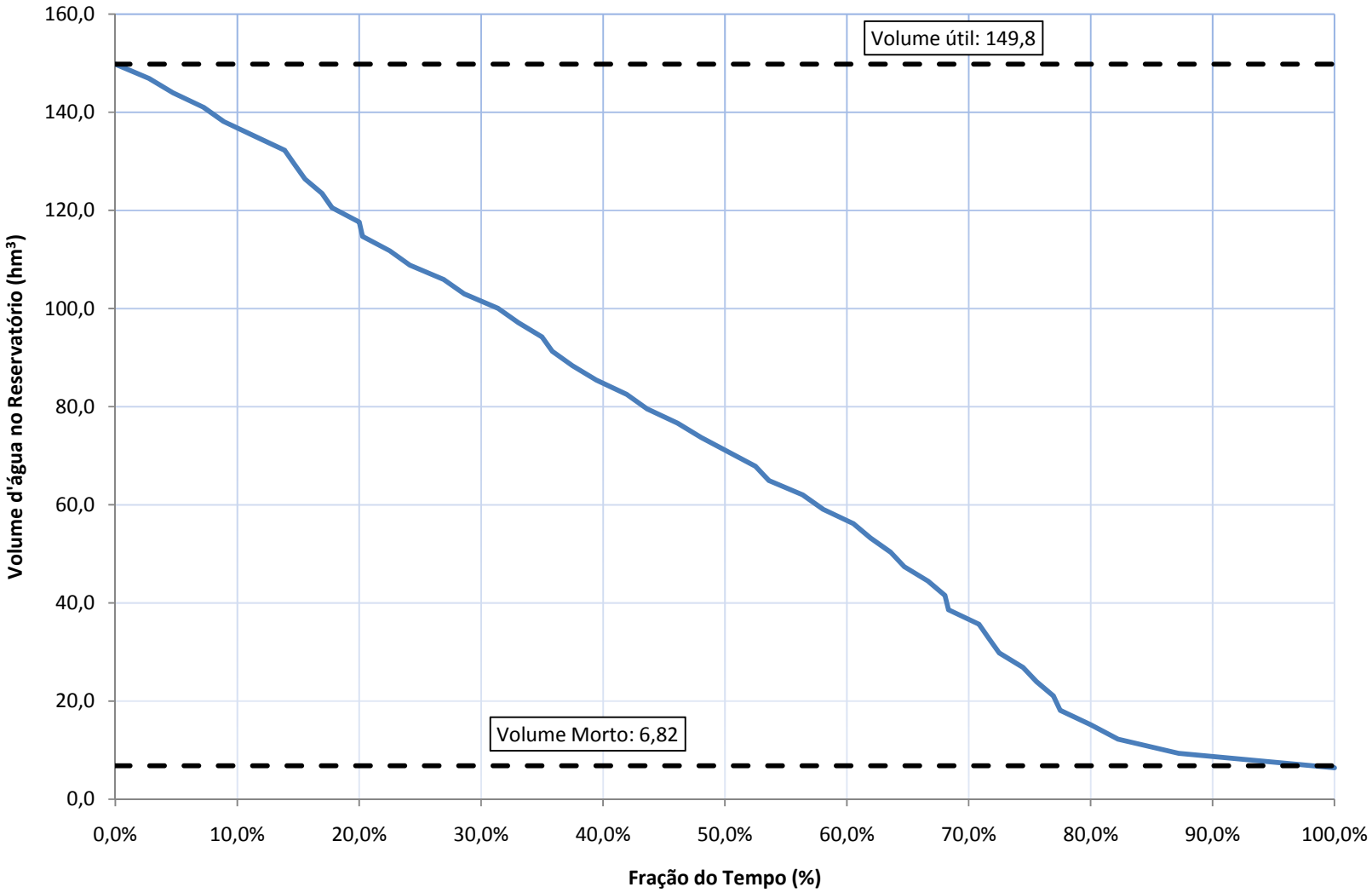

Figura II.63: Cenário HADB2+2 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

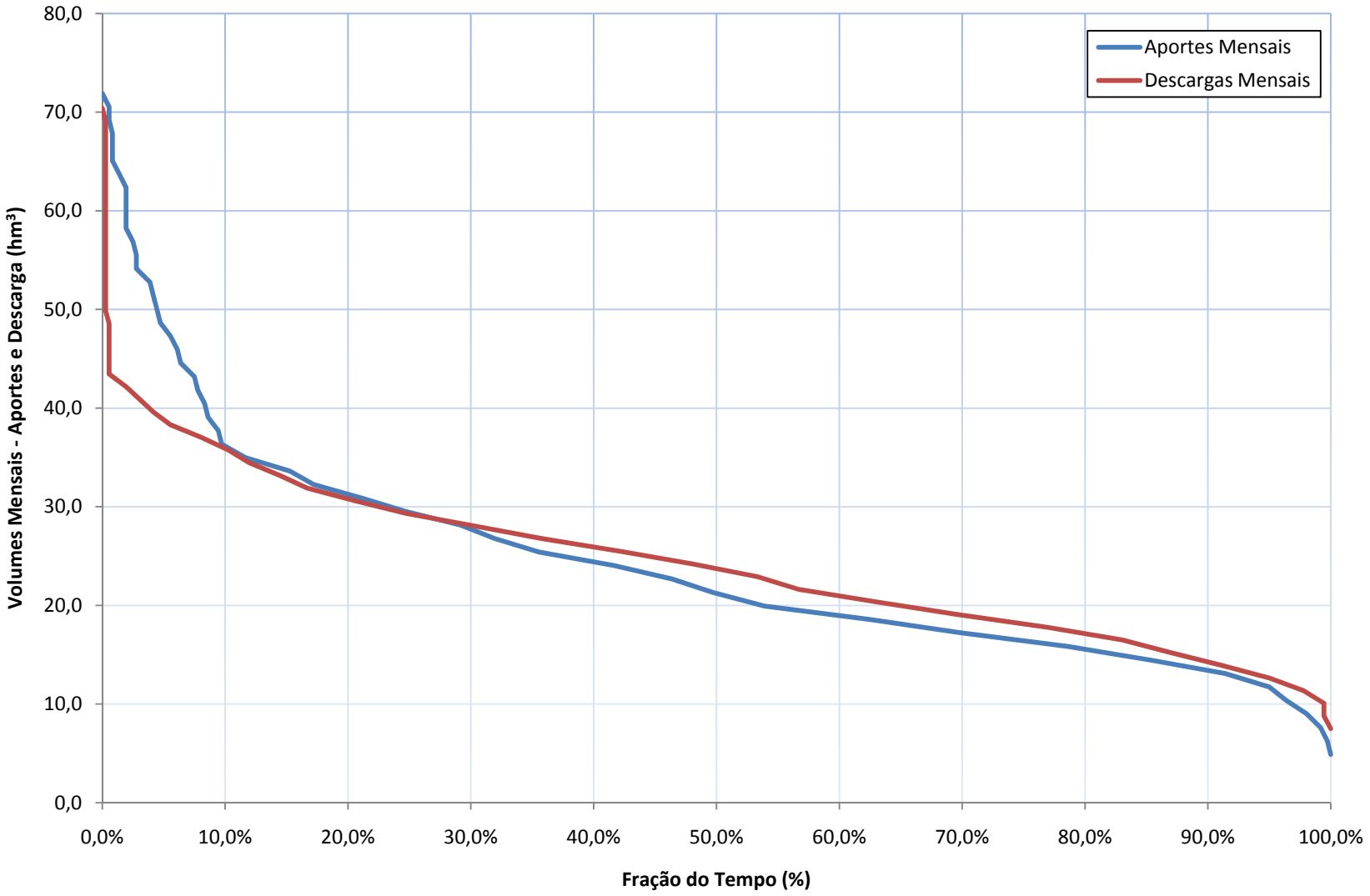

Figura II.64: Cenário HADB2+2 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanencia de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

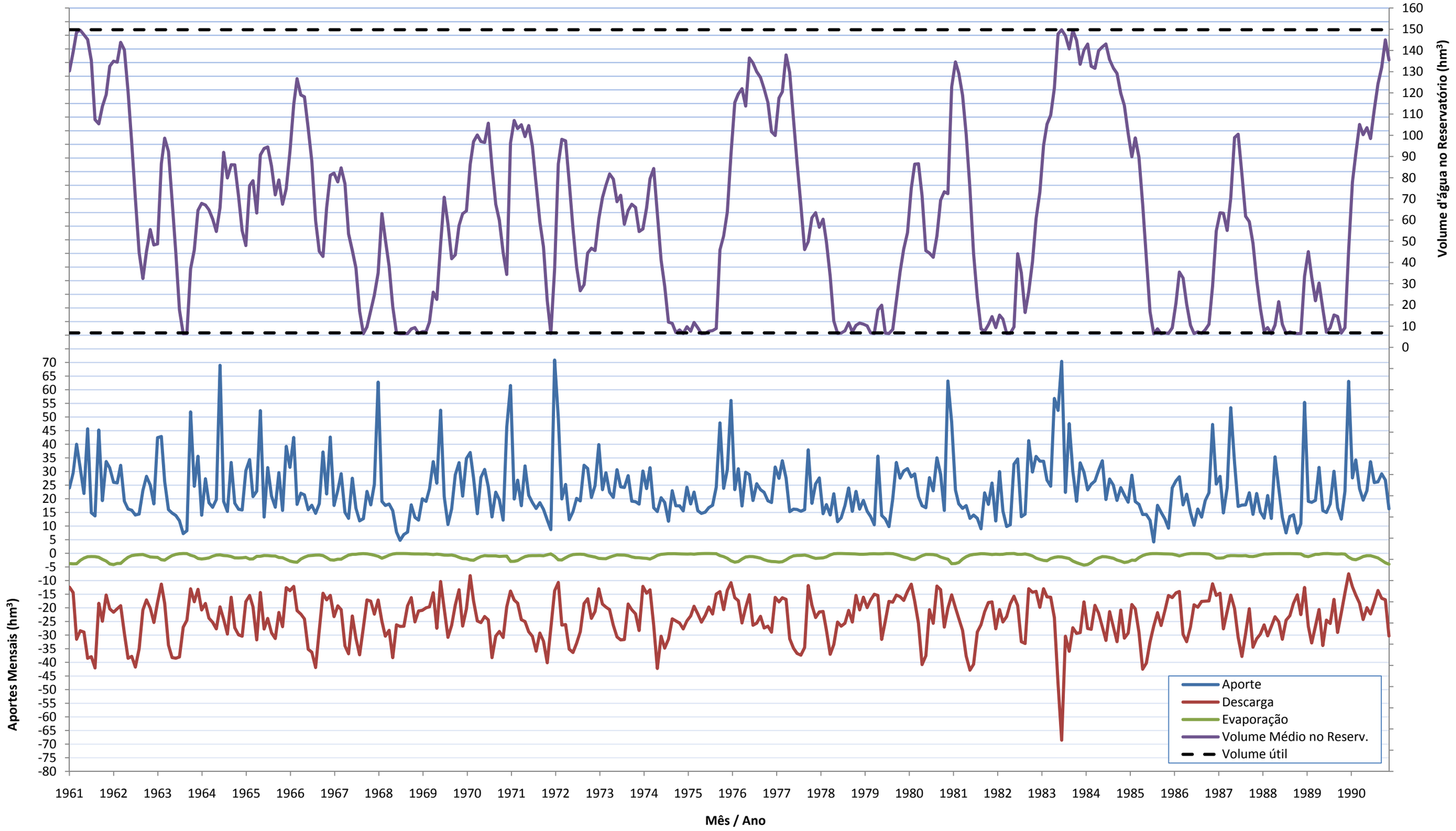

Figura II.65: Cenário HADB2+3 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.

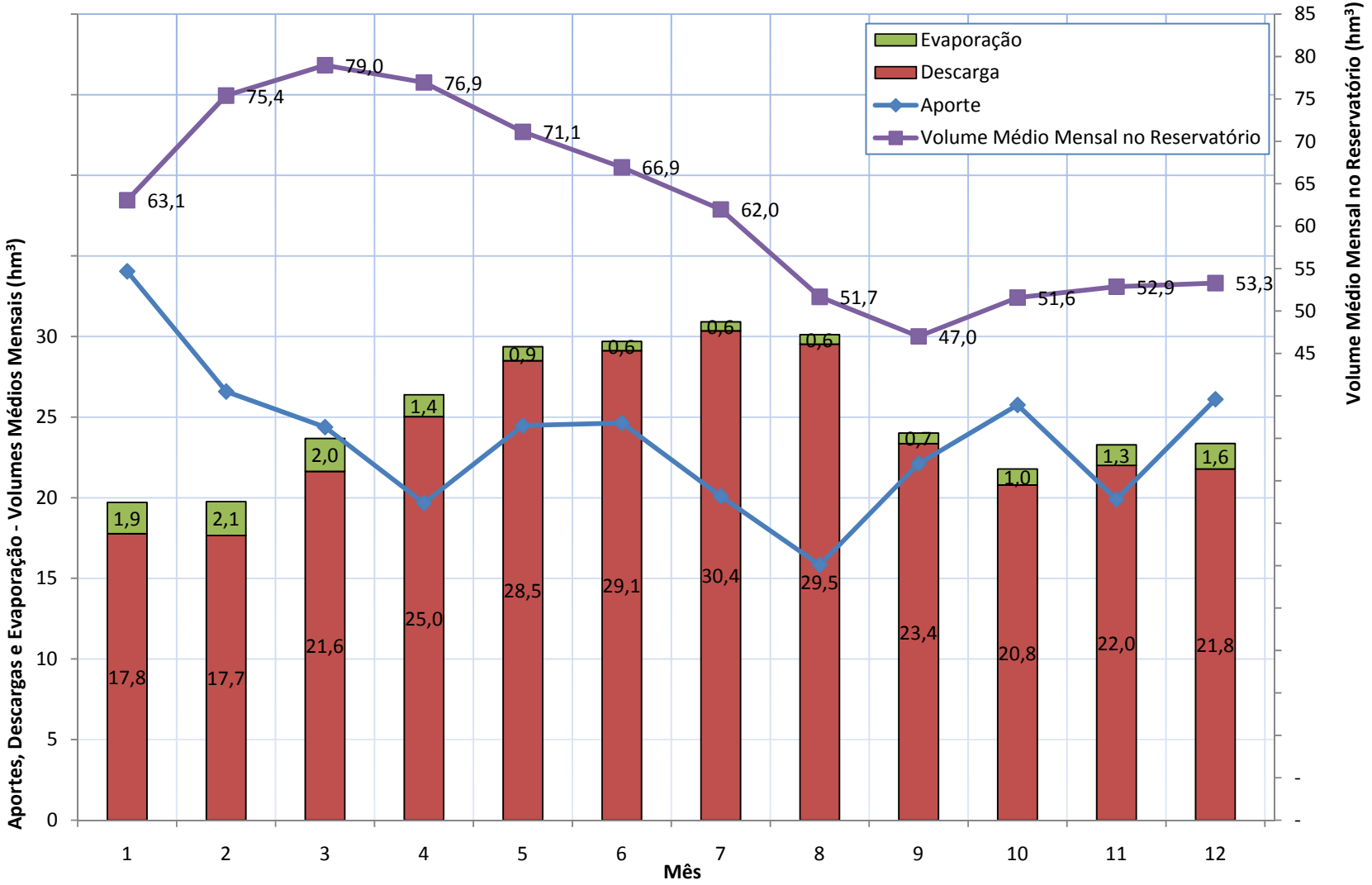

Figura II.66: Cenário HADB2+3 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes médios mensais no sistema de reservatórios.

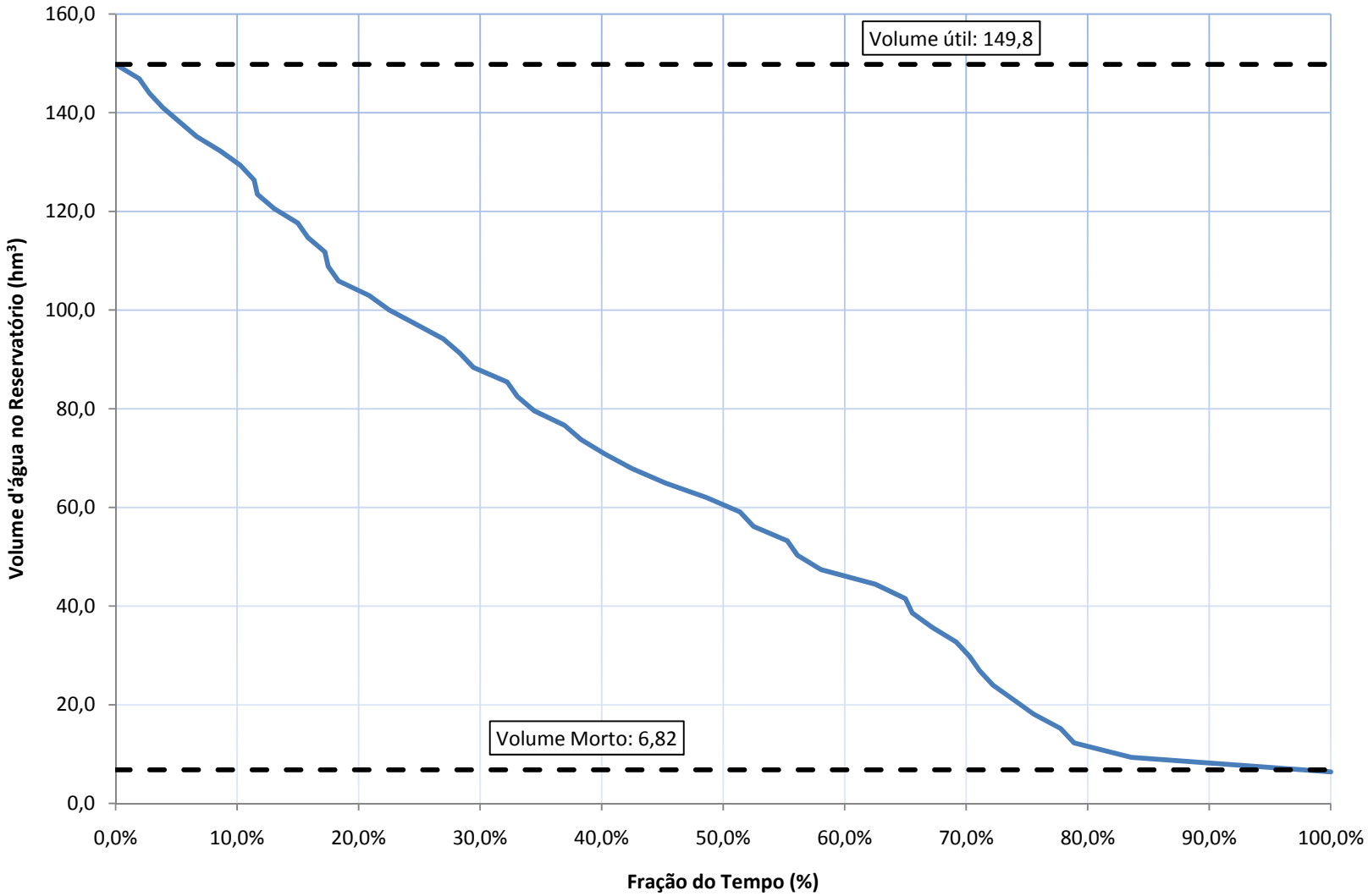

Figura II.67: Cenário HADB2+3 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

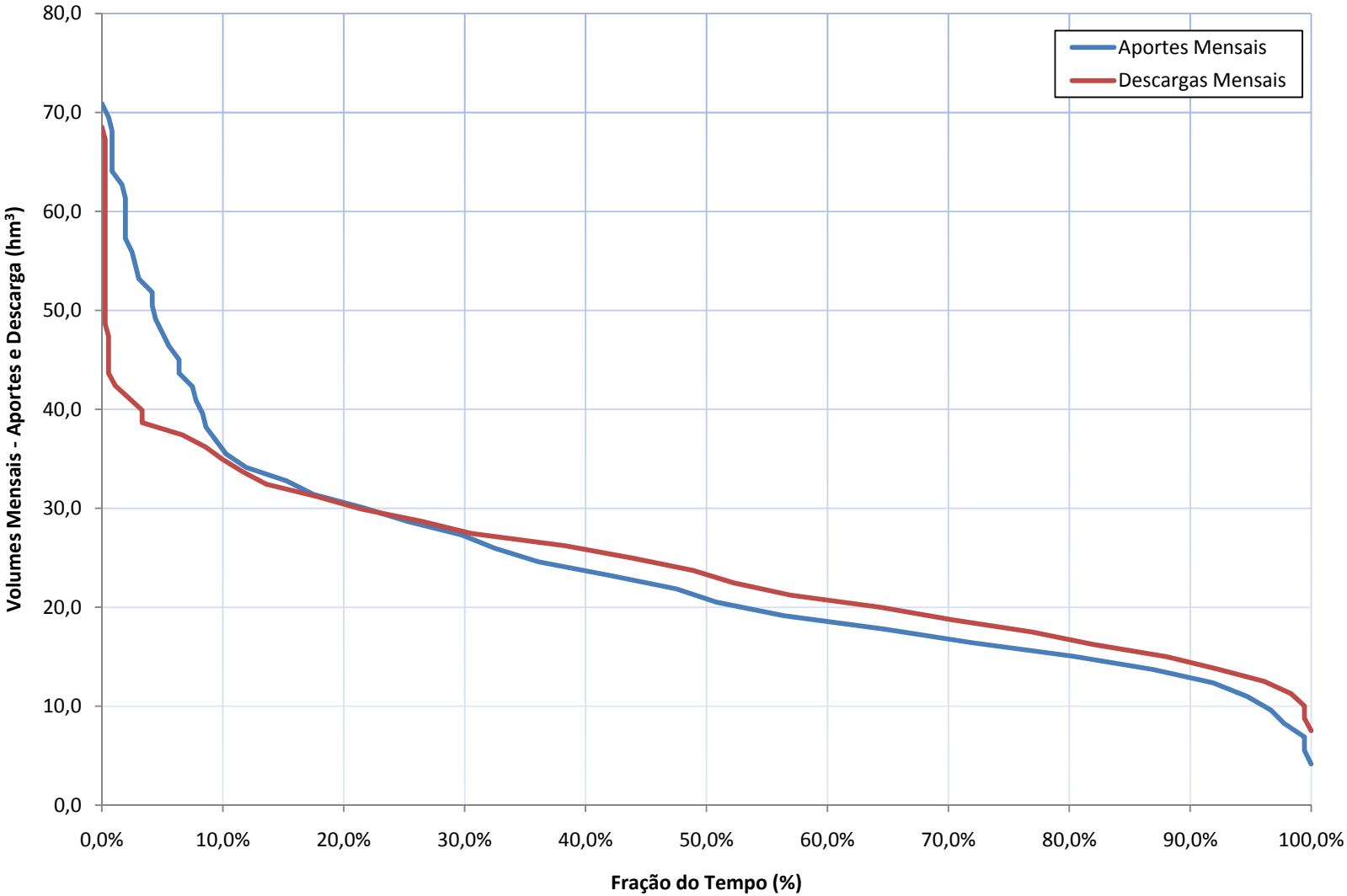

Figura II.68: Cenário HADB2+3 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

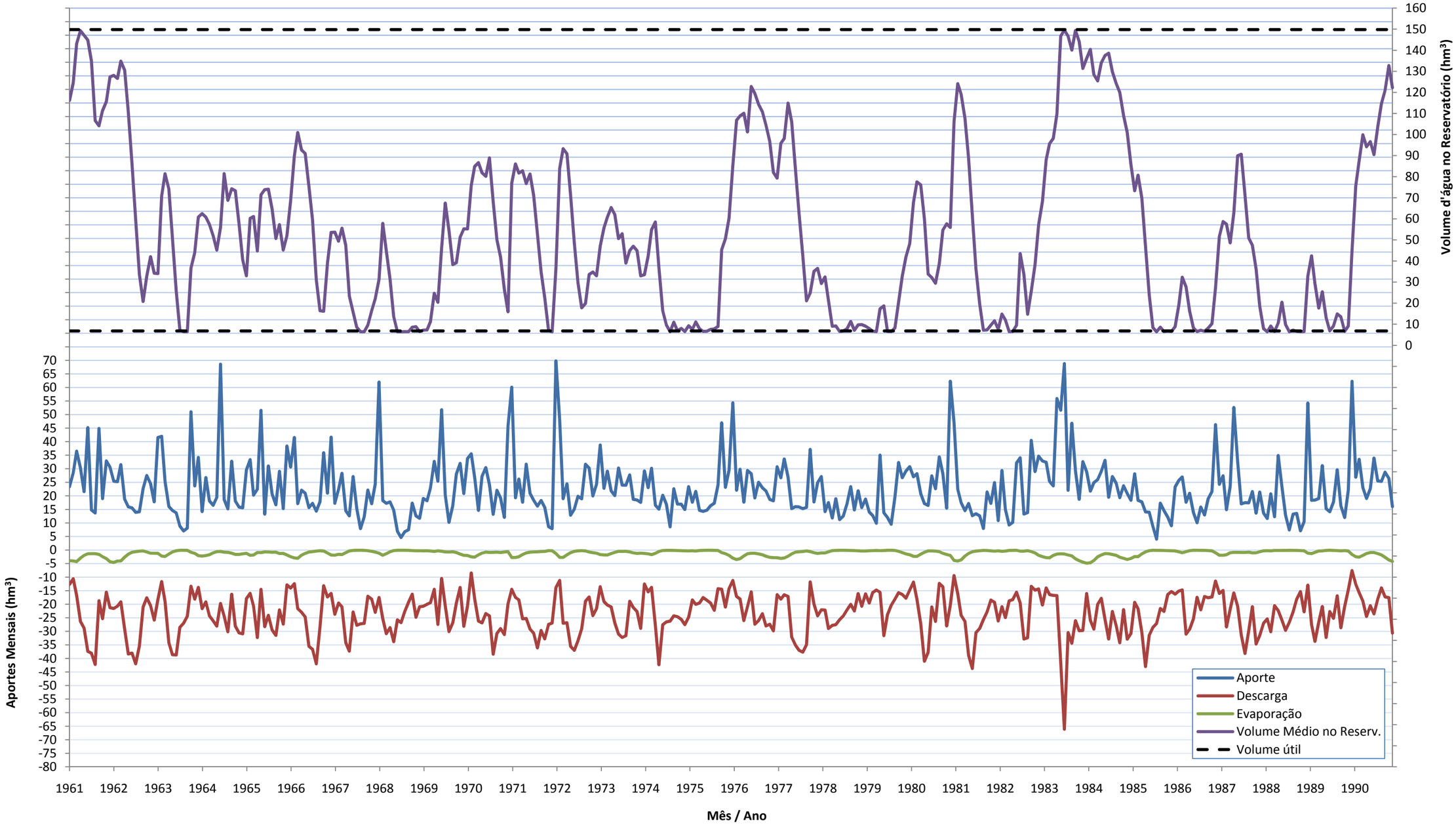

Figura II.69: Cenário HADB2+4 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Evolução de volumes no sistema de reservatórios.

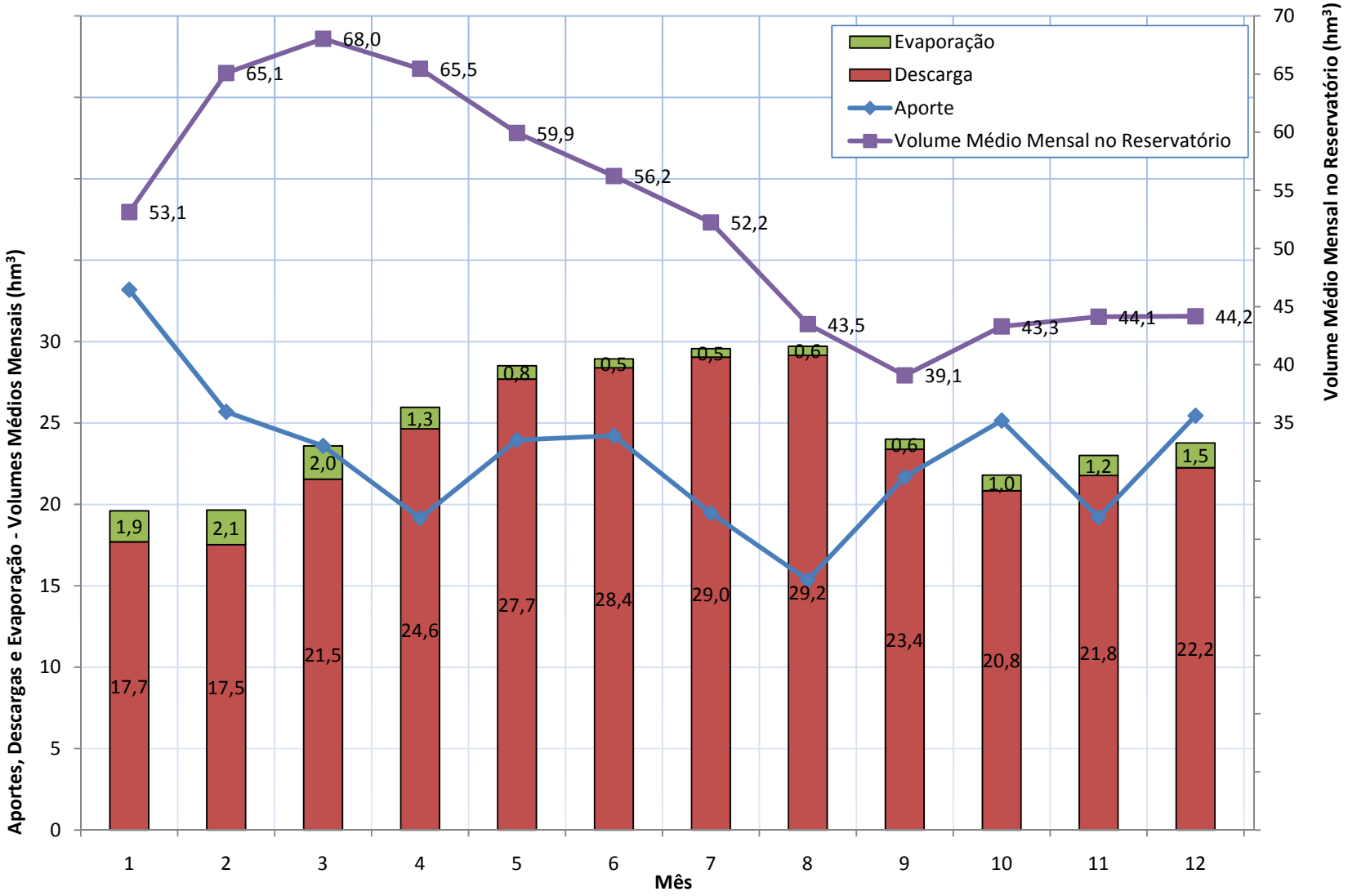

Figura II.70: Cenário HADB2+4 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Volumes médios mensais no sistema de reservatórios.

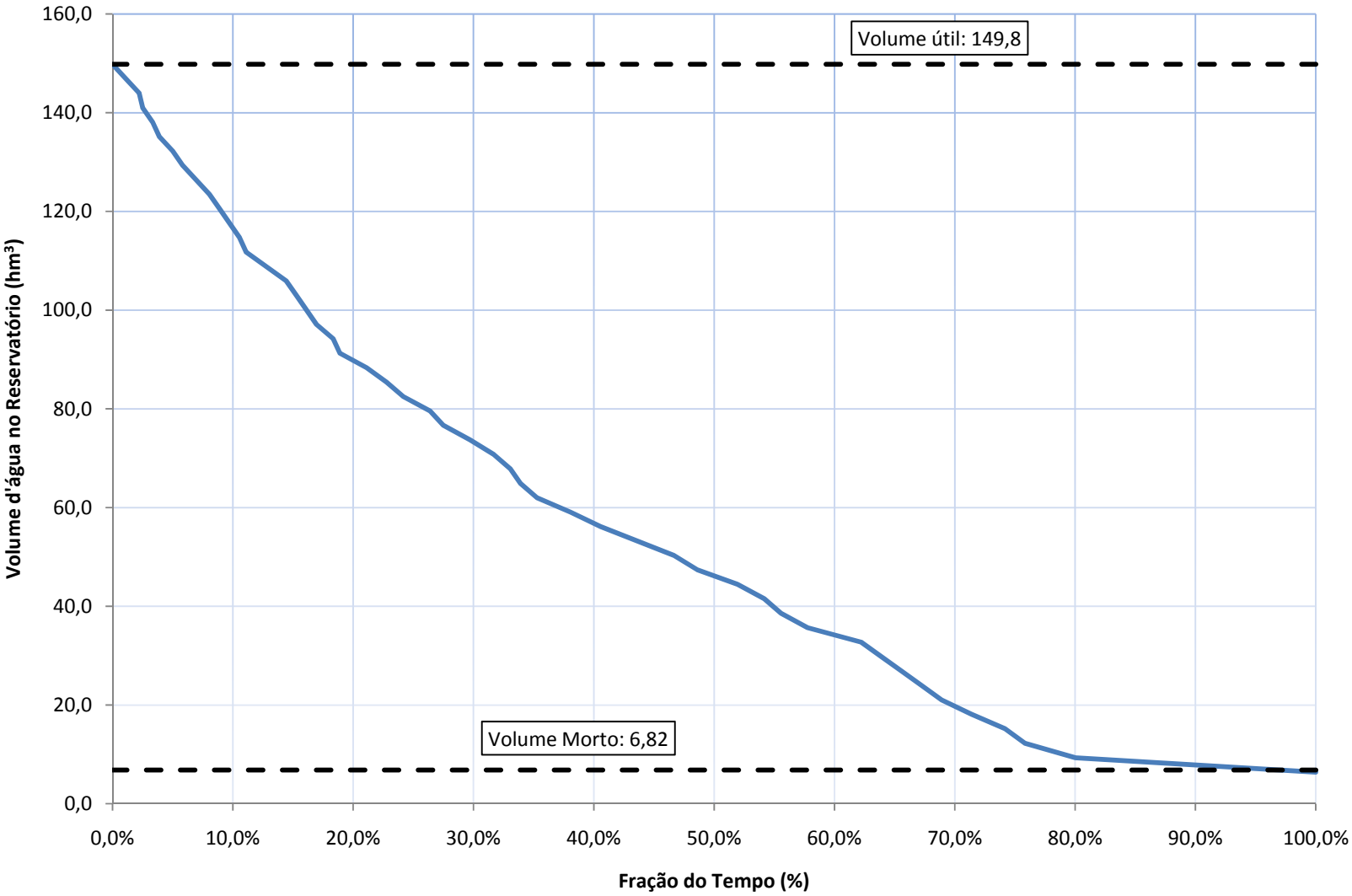

Figura II.71: Cenário HADB2+4 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de volumes no sistema de reservatórios.

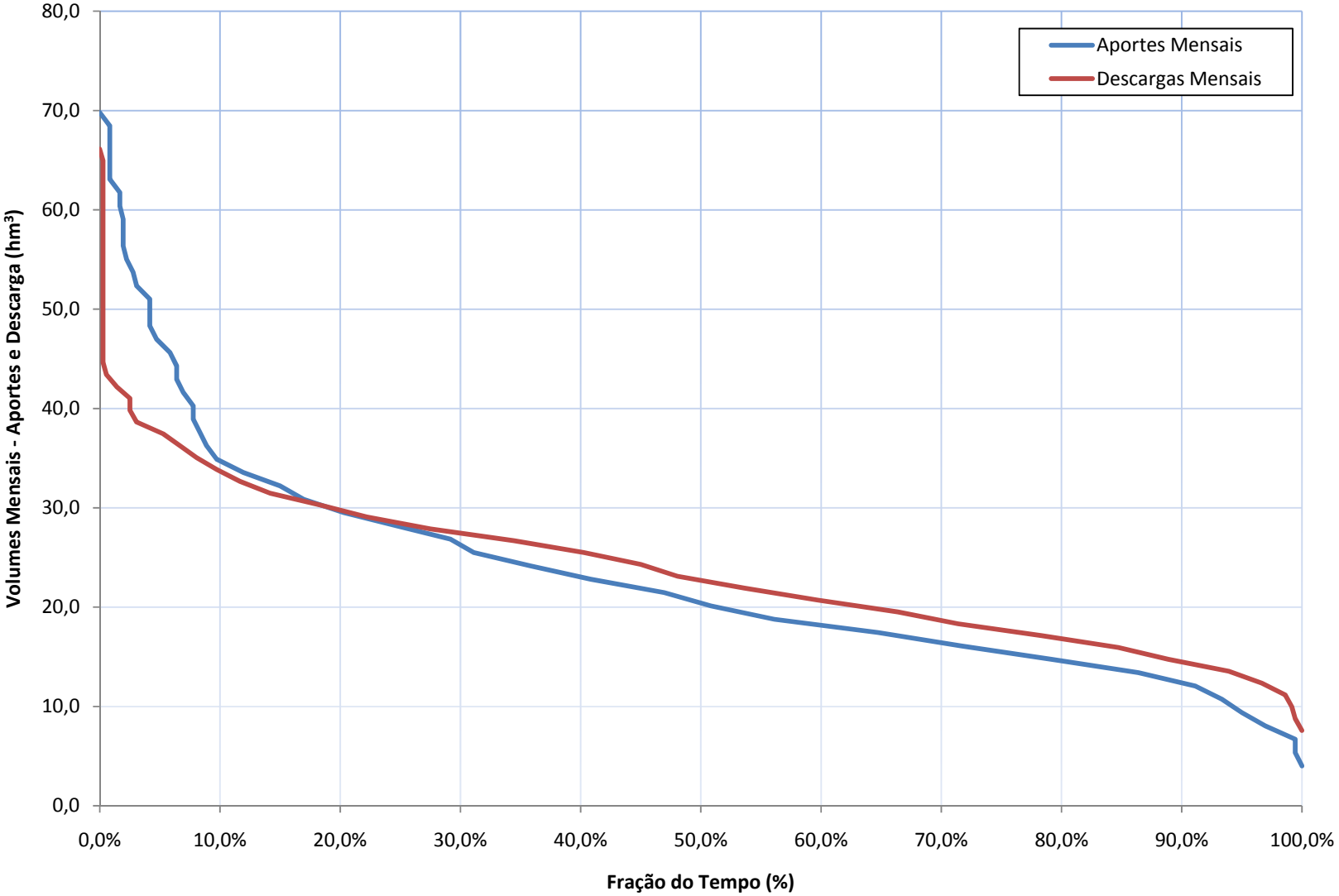

Figura II.72: Cenário HADB2+4 – Resultados da simulação com o modelo de fluxo – Curva de permanência de aportes e descargas do sistema de reservatórios.

SNC·LAVALIN

SNC-LAVALIN PROJETOS LTDA.
Avenida Paulista, 688 – 4º andar
Conjuntos 41 e 43 – Bela Vista
01310-909 São Paulo, SP, Brasil
Tel.: (55 11) 3077-1200 Fax: (55 11) 3077-1201