

## UMA PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO ENTRE O MODELO MATEMÁTICO NFS (NATIONAL SANITATION FOUNDATION) E ESS (ENVIRONMENT EVALUATION SYSTEM) PARA A QUALIDADE AMBIENTAL

Warlen Librelon de Oliveira (\*), Alexandre Alex Barbosa Xavier

\* Preserva Soluções Ambientais. warlen@librelon.com.br

### RESUMO

Esse estudo procura analisar e interpretar dois modelos matemáticos. Um especialmente para qualidade de água e outro para qualidade ambiental de um modo geral. Será discutido os pontos de vantagens e desvantagens confrontando os resultados através de planilhas simuladas.

Para representar os dados e resultados dos modelos matemáticos, foram desenvolvidas diversas planilhas através do software LibreOffice. Essas planilhas representam diversas situações de qualidade da água como o propósito de identificar as relações diretas e indiretas entre os modelos matemáticos.

Após analisar cada planilha usada para simulação, identificou-se que os resultados entre os dois modelos matemáticos (EES e NSF) aproximaram-se quando o índice da qualidade da água estava elevado. À medida que o índice de qualidade da água reduzia, a diferença entre os resultados dos modelos distanciavam.

Em uma das simulações, foi mantido o mesmo peso entre os modelos para verificar se haveria alguma interferência. Nesse caso, constatou que não houve relação direta na diferença dos índices.

Com mais análises foi possível constatar que o modelo matemático da EES funciona como cálculo de média aritmética. O resultado tende para um grupo de notas que possuem valores próximos, seja para cima ou para baixo. Quando maior parte das notas está mais elevada, o resultado tende para cima. Quando está mais baixa, o resultado tende para baixo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade da água, Matriz de impactos, Modelo matemático para qualidade de água, Environmental Evaluation System e National Sanitation Foundation.

### INTRODUÇÃO

Em 1972, foi organizada na capital da Suécia a primeira reunião mundial para discutir questões sobre meio ambiente organizada pela ONU (Organizações das Nações Unidas). O foco principal foi demonstrar que a ação humana estava causando séria degradação da natureza e criando severos riscos para o bem-estar e para a própria sobrevivência da humanidade. Apesar de ter sido considerado um avanço, os resultados não foram significativos. Como iniciativa, o primeiro passo rumo a uma nova forma de pensar o meio ambiente finito, é indiscutível que apesar de não ter resultados satisfatórios, a reunião mostrou que mesmo a passos lentos a comunidade mundial precisaria tomar novas atitudes em relação às questões ambientais.

A partir de 1972, houve inúmeras reuniões como: Eco-92, protocolo de Kyoto em 1995 e conferência de Copenhague em 2009 foram os principais encontros com representantes de vários países para discutirem assuntos de cunho ambiental. Com visões diferentes, os conflitos nas ideias eram comuns, fazendo com que não chegassem num entendimento. Como por exemplo os Estados Unidos da América não ter assinado o protocolo de Kyoto para redução de emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Segundo Moreira (2001), o sistema de gestão ambiental começou no Brasil em 1996, através da primeira norma identificada como ISO 14001. É uma aplicação recente e por isso merece maior atenção e incentivo nas pesquisas para melhoria contínua e utilização mais frequente.

A gestão e planejamento ambiental são procedimentos relativamente novos se comparados com outras áreas do conhecimento. E por isso a necessidade de estudos para melhoria e/ou acertos ocorrem em uma velocidade que muitas vezes é imperceptível.

Em 1971 Luna B. Leopold, Frank E. Clarke, Bruce B. Hanshaw e James R. Balsley fizeram o primeiro modelo de estudo de impacto ambiental que resultou na criação de uma matriz, que ficou conhecida como “Matriz de Leopold”. Nessa matriz são identificados os aspectos e os impactos ambientais de uma determinada atividade e demonstra objetivamente a relação dessas informações de forma cruzada, facilitando o trabalho dos analistas ambientais no procedimento de caracterização do ambiente. Depois de um longo tempo, os profissionais que faziam o uso desse modelo de planilha começaram a alterar a estrutura para atender as suas particularidades bem como uma forma diferente de visualizar os dados e assim poderem tomar as decisões a respeito do projeto em questão.

A base da estrutura da matriz de Leopold é uma tabela bidimensional, onde linhas representavam os aspectos e as colunas representam os impactos. O aspecto ambiental é considerado como causa do impacto provocado por uma atividade. O cruzamento da linha com a coluna define o grau de interferência de uma informação com outra. Nesse caso o grau é representado por uma codificação e apresentada em uma legenda que identifica o quão um impacto é significativo para um determinado aspecto. Com todos os graus determinados entre os aspectos e impactos da atividade, o analista interpreta de uma forma mais ampla, o quanto a atividade está impactando o meio ambiente, contribuindo assim para a sua conclusão.

A modelagem matemática vem aos poucos ocupando um espaço nas análises de dados qualitativos e quantitativos para avaliação de impactos ambientais. Diversos modelos já foram desenvolvidos, cada qual com seu objetivo, demonstrando eficiência e confiabilidade nos resultados ao comparar com processos manuais. Ainda com diversos obstáculos a serem vencidos, uma vez que sistemas ambientais são extremamente dinâmicos além das suas interações poderem ser sinérgicas e cumulativas. Esse talvez seja o grande desafio para serem modelados matematicamente.

Propondo uma relação de análise entre a matriz de aspectos e impactos ambientais, esse trabalho apresenta uma análise discursiva entre os modelos da National Sanitation Foundation (NSF) e Environmental Evaluation System (EES) para qualidade da água contribuindo para a gestão de recursos hídricos.

## METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram estudados dois modelos matemáticos para qualidade ambiental. Sendo o modelo da National Sanitation Foundation (NSF), específico para qualidade da água e o modelo desenvolvido pela Battele - Environmental Evaluation System (EES) com características gerais de qualidade ambiental. O modelo da EES trabalha com 78 parâmetros envolvendo diversas categorias. Porém para atender aos objetivos específicos da pesquisa, que está relacionado com a qualidade da água, foi necessário utilizar apenas os parâmetros 20, 21, 22, 24, 25, 27, 29, 30 e 32 da Tabela 3, que representam os mesmos parâmetros do modelo da NSF.

De acordo com os dois modelos, a base dos cálculos é a utilização do peso. Que é uma representação da importância de um parâmetro em relação ao conjunto. Devido à quantidade de parâmetros serem diferentes entre os dois modelos, foi necessário alterar os pesos do modelo EES para ficarem proporcionais. Outra diferença que precisou ser ajustada foi o fator de relação. A NSF utiliza o fator por cento e a EES utiliza por mil. Essa alteração foi necessária para ajustar proporcionalmente os pesos de 9 parâmetros que serão analisados entre os dois modelos matemáticos. Para esse ajuste de proporcionalidade, calculou-se a razão do peso pela somatória dos pesos entre os 9 parâmetros que serão trabalhados. Os parâmetros com os pesos de cada modelo e o novo peso ajustado estão demonstrados na Tabela 1.

**TABELA 1 – Relação de pesos para cálculo da qualidade da água. Fonte: Tabela produzida pelo autor a partir dos modelos da NSF e EES, 2014.**

Parâmetro	Peso NSF	Peso EES	Peso ajustado EES
Coli termotolerantes	0,150	18	0,083
pH	0,120	18	0,083
DBO5	0,100	25	0,115
Nitrogênio total	0,100	25	0,115
Fósforo total	0,100	28	0,128
Diferença Temperatura.	0,100	28	0,128
Turbidez	0,080	20	0,092
Sólidos totais	0,080	25	0,115
OD	0,170	31	0,142
<b>Σ Total</b>	<b>1,00</b>	<b>218</b>	<b>1,00</b>

Ainda com base nos estudos de Sperling (2007), foi utilizada uma planilha eletrônica adaptada por ele para o cálculo do IQA/NSF. Na mesma planilha foram implementados os novos cálculos de acordo com a modelagem do EES.

Os valores dos parâmetros lidos por instrumentos e/ou produzidos em laboratório são dados que não representam uma nota padronizada. Para encontrar a nota equivalente ao valor da concentração de um determinado parâmetro, a NSF desenvolveu um estudo que retrata a qualidade em relação ao corpo hídrico. Na Figura 1 estão representados os gráficos dos nove parâmetros utilizados no cálculo do índice de qualidade de água. Através das curvas de qualidade, a CETESB desenvolveu as equações matemáticas para calcular a nota do parâmetro com base no valor de concentração medido no corpo hídrico. Essas equações foram introduzidas na planilha eletrônica para que os resultados fossem obtidos de forma imediata. A Tabela 1-2 representa cada parâmetro com suas faixas de limites e a equação para obter a nota final.

Para a fundamentação teórica foi realizada pesquisa bibliográfica, estudos detalhados nos dois modelos de referências, avaliação dos cálculos matemáticos, interpretação dos resultados, simulação com novos valores e comparação dos índices gerados pelos modelos.

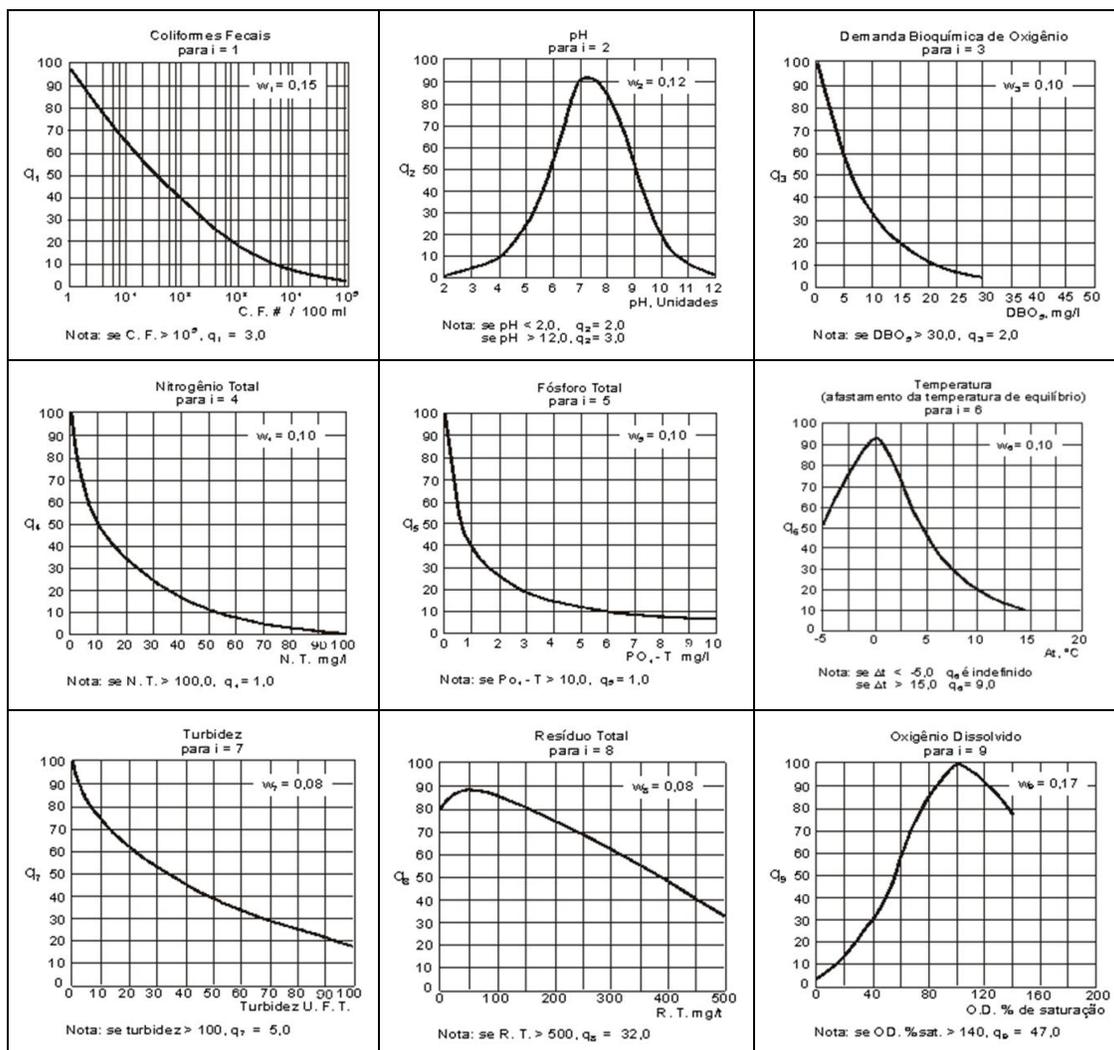


FIGURA 1. Curva de qualidade de água elaborada pelo NSF. Fonte: Sperling, 2007, p. 254

**TABELA 2 – Equações das curvas de qualidade da água do NSF, elaboradas pela CETESB. Fonte: Sperling, 2007, p. 255.**

Parâmetros	Limite Mínimo	Limite Máximo	Equação de qi
Coliformes	0	1	$100 - 33 \cdot \log C$
	1	5	$100 - 37,2 \cdot \log C + 3,60743 \cdot \log C^2$
	5		3
pH	0	2	2
	2	4	$13,6 - 10,6 \cdot \text{pH} + 2,4364 \cdot \text{pH}^2$
	4	6,2	$155,5 - 77,36 \cdot \text{pH} + 10,2481 \cdot \text{pH}^2$
	6,2	7	$-657,2 - 197,38 \cdot \text{pH} - 12,9167 \cdot \text{pH}^2$
	7	8	$-427,8 - 142,05 \cdot \text{pH} - 9,695 \cdot \text{pH}^2$
	8	8,5	$216 - 16 \cdot \text{pH}$
	8,5	9	$1415823 \cdot \text{EXP}(-1,1507 \cdot \text{pH})$
	9	10	$50 - 32 \cdot (\text{pH} - 9)$
	10	12	$633 - 106,5 \cdot \text{pH} + 4,5 \cdot \text{pH}^2$
	12	14	3
DBO	0	5	$99,96 \cdot \text{EXP}(-0,1232728 \cdot C)$
	5	15	$104,67 - 31,5463 \cdot \text{LOG}10 C$
	15	30	$4394,91 \cdot C^{-1,99809}$
	30		2
Nitrogênio Total	0	10	$100 - 8,169 \cdot C + 0,3059 \cdot C^2$
	10	60	$101,9 - 23,1023 \cdot \text{LOG}10 C$
	60	100	$159,3148 \cdot \text{EXP}(-0,0512842 \cdot C)$
	100		1
Fósforo	0	1	$99 \cdot \text{EXP}(-0,91629 \cdot C)$
	1	5	$57,6 - 20,178 \cdot C + 2,1326 \cdot C^2$
	5	10	$19,8 \cdot \text{EXP}(-0,13544 \cdot C)$
	10		5
Dif. de Temp.			94
Turbidez	0	25	$100,17 - 2,67 \cdot \text{turb} + 0,03775 \cdot \text{turb}^2$
	25	100	$84,76 \cdot \text{EXP}(-0,016206 \cdot \text{turb})$
	100		5
Sólidos totais	0	150	$79,75 + 0,166 \cdot C - 0,001088 \cdot C^2$
	150	500	$101,67 - 0,13917 \cdot C$
	500		32
Percentagem de Saturação de OD	0	50	$3 + 0,34 \cdot (\% \text{Sat}) + 0,008095 \cdot (\% \text{Sat})^2 + 1,35252 \cdot 0,00001 \cdot (\% \text{Sat})^3$
	50	85	$3 - 1,166 \cdot (\% \text{Sat}) + 0,058 \cdot (\% \text{Sat})^2 - 3,803435 \cdot 0,0001 \cdot (\% \text{Sat})^3$
	85	100	$3 + 3,7745 \cdot (\% \text{Sat})^0,704889$
	100	140	$3 + 2,9 \cdot (\% \text{Sat}) - 0,02496 \cdot (\% \text{Sat})^2 + 5,60919 \cdot 0,00001 \cdot (\% \text{Sat})^3$
	140		$3 + 47$
	Concentração de Saturação de OD (mg/L)		
% de Saturação			$100 \cdot \text{OD} / C_s$

C = Concentração (mg/L); temp = temperatura; turb = Turbidez

Diferença de Temp.: Assumido o valor da constante de 94 pela CETESB, por se considerar que, nas condições brasileiras, a temperatura dos corpos d'água não se afasta da temperatura de equilíbrio.

**TABELA 3 – Lista de Parâmetros com unidades PIU para cálculo da qualidade ambiental. Fonte: Environmental Evaluation System (EES).**

Categorias	Componentes	Parâmetros	Unidade Importância de parâmetros (PIU)		
			Parâmetro	Componente	Categoria
Poluição	Água	19. Bacia perda hidrológica	20	318	402
		<b>20. Demanda Bioquímica de Oxigênio</b>	25		
		<b>21. Oxigênio Dissolvido</b>	31		
		<b>22. Coliformes fecais</b>	18		
		23. Carbono inorgânico	22		
		<b>24. Nitrogênio inorgânico</b>	25		
		<b>25. O fosfato inorgânico</b>	28		
		26. Pesticidas	16		
		<b>27. pH</b>	18		
		28. Variação vazão	28		
		<b>29. Temperatura</b>	28		
		<b>30. Sólidos Totais Dissolvidos</b>	25		
		31. As substâncias tóxicas	14		
	<b>32. Turbidez</b>	20			
	Ar	33. Monóxido de carbono	5	52	
		34. Hidrocarbonetos	5		
		35. Os óxidos de nitrogênio	10		
		36. Partículas	12		
		37. Oxidantes fotoquímicos	5		
		38. O dióxido de enxofre	10		
39. Outro		5			
Terra	40. O uso da terra	14	28		
	41. A erosão do solo	14			
Ruído	42. Ruído	4	4		
Soma total de unidades de importância dos parâmetros (PIU). Considerando os demais parâmetros ocultados nessa tabela e que se encontram nas referências					1000

## ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS

### Simulação com dados para qualidade de água

A Tabela 5 foi adaptada com base na Tabela 4 desenvolvida por Sperling (2007). Essa adaptação é a proposição principal para simulação dos cálculos apresentados pelos modelos estudados. As notas dos parâmetros mostradas por Sperling (2007) identificadas pelas colunas Resultados da análise de água, Nota qi e Nota NSF. A coluna Nota NSF é a base principal para geração de índice geral de qualidade de água de acordo com a Equação 1. A coluna Nota EES é a base para o modelo matemático desenvolvido pela EES de acordo com a Equação 2.

As Tabelas 7, 8, 9 e 10 foram reproduzidas a partir da Tabela 6 com alteração dos valores de alguns parâmetros com o objetivo de simular diversas situações e compreender melhor os resultados dos índices. Os parâmetros escolhidos para serem alterados foram os que mais interferem na qualidade da água. São eles: Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Coliformes Termotolerantes. Especialmente a Tabela 6, além dos parâmetros anteriores, Nitrogênio Total, Fósforo Total e Turbidez também foram alterados com o objetivo de simular a melhor qualidade possível da água e assim obter outra forma de interpretação.

As tabelas apresentadas a seguir possuem seis colunas, sendo as três primeiras com informações lançadas manualmente e as demais calculadas. A coluna “Resultados da análise da água” representa o resultado obtido em laboratório medido em campo de cada parâmetro. A coluna “Nota qi (0 a 100)”, representa uma nota com base em estudos da NSF que são cálculos especiais para identificar a qualidade ambiental de cada parâmetro em função do resultado obtido em análise. As duas colunas seguintes “Nota NSF e Nota EES”, são os resultados processados por cada modelo estudado que resultarão no índice final da qualidade da água.

**TABELA 4 – Resultados da análise da água usados como exemplo. Fonte: Sperling, 2007, p. 254.**

Parâmetro	Unidade	Resultados da análise da água	Nota qi (0 a 100)	Peso	Nota NSF
Coliformes	NMP/100mL	10	67,00	0,15	1,88
pH		6,80	87,72	0,12	1,71
DBO5	mg/L	3,00	69,06	0,10	1,53
Nitrog. Tot.	mgN/L	0,30	97,58	0,10	1,58
Fósforo Tot.	mgP/L	0,05	86,03	0,10	1,56
Difer. Temp.	oC	-	94,00	0,10	1,58
Turbidez	NTU	20,00	61,87	0,08	1,39
Sólidos Tot.	mg/L	100,00	85,47	0,08	1,43
OD	% satur	82,00	87,60	0,17	2,14
IQA - NSF	81				

**TABELA 5 – Resultados da análise da água usados como referência. Fonte: Tabela produzida pelo autor a partir dos modelos da NSF e EES, 2014.**

Parâmetro	Unidade	Resultados da análise da água	Nota qi (0 a 100)	Nota NSF	Nota EES
Coliformes	NMP/100mL	10	67,00	1,88	5,53
pH		6,80	87,72	1,71	7,24
DBO5	mg/L	3,00	69,06	1,53	7,92
Nitrog. Tot.	mgN/L	0,30	97,58	1,58	11,19
Fósforo Tot.	mgP/L	0,05	86,03	1,56	11,05
Difer. Temp.	oC	-	94,00	1,58	12,07
Turbidez	NTU	20,00	61,87	1,39	5,68
Sólidos Tot.	mg/L	100,00	85,47	1,43	9,80
OD	% satur	82,00	87,60	2,14	12,46
IQA - NSF	81				
IQA - EES	83				

Os dados apresentados na Tabela 4 foram expostos por Sperling (2007) como informações fictícias para serem processadas e calcular o índice de qualidade da água.

Para simular novas situações de resultados dos índices, a Tabela 6 utiliza-se da base de dados da Tabela 6, porém com alteração nos resultados da análise da água e da nota.

**TABELA 6 – Resultados da análise com alteração da nota do parâmetro Coliformes, OD, DBO, Nitrogênio Total, Fósforo Total e Turbidez. Fonte: Tabela produzida pelo autor a partir dos modelos da NSF e EES, 2014.**

Parâmetro	Unidades	Resultados da análise da água	Nota qi (0 a 100)	Nota NSF	Nota EES
Coliformes	NMP /100mL	1	100,00	2,00	8,26

pH		6,80	87,72	1,71	7,24
DBO5	mg/L	1,00	88,00	1,56	10,09
Nitrog. Tot.	mgN/L	0,01	99,20	1,58	11,38
Fósforo Tot.	mgP/L	0,01	96,20	1,58	12,36
Difer. Temp.	oC	-	94,00	1,58	12,07
Turbidez	NTU	1,00	97,50	1,44	8,94
Sólidos Tot.	mg/L	100,00	85,50	1,43	9,80
OD	% satur	101,50	98,80	2,18	14,05
IQA - NSF	97				
IQA - EES	97				

A Tabela 6 foi construída para elevar ao máximo a qualidade da água. Com isso concluiu-se que à medida que o índice melhora, mais aproximados ficam os resultados dos dois modelos.

**TABELA 7 – Resultados da análise com alteração da nota do parâmetro OD da água. Fonte: Tabela produzida pelo autor a partir dos modelos da NSF e EES, 2014.**

Parâmetro	Unidade	Resultados da análise da água	Nota qi (0 a 100)	Nota NSF	Nota EES
Coliformes	NMP/100mL	10	67,00	1,88	5,53
pH		6,80	87,72	1,71	7,24
DBO5	mg/L	3,00	69,06	1,53	7,92
Nitrog. Tot.	mgN/L	0,30	97,58	1,58	11,19
Fósforo Tot.	mgP/L	0,05	86,03	1,56	11,05
Difer. Temp.	oC	-	94,00	1,58	12,07
Turbidez	NTU	20,00	61,87	1,39	5,68
Sólidos Tot.	mg/L	100,00	85,47	1,43	9,80
OD	% satur	14,70	9,80	1,47	1,39
IQA - NSF	56				
IQA - EES	72				

Usando os mesmos dados da Tabela 6, a Tabela 7 foi modificada alterando apenas a nota do parâmetro OD, com o objetivo de simular uma situação crítica do corpo hídrico. Esperava-se que o índice de qualidade de água fosse reduzido devido ao parâmetro oxigênio dissolvido ser um dos mais importantes para caracterizar a qualidade da água. Porém, a diferença nos resultados entre cada modelo matemático foi significativo, e merece uma atenção especial para análise.

**TABELA 8 – Resultados da análise da água com alteração da nota do parâmetro DBO. Fonte: Tabela produzida pelo autor a partir dos modelos da NSF e EES, 2014.**

Parâmetro	Unidade	Resultados da análise da água	Nota qi (0 a 100)	Nota NSF	Nota EES
Coliformes	NMP/100mL	10	67,00	1,88	5,53
pH		6,80	87,72	1,71	7,24
DBO5	mg/L	20,00	11,05	1,27	1,27
Nitrog. Tot.	mgN/L	0,30	97,58	1,58	11,19
Fósforo Tot.	mgP/L	0,05	86,03	1,56	11,05
Difer. Temp.	oC	-	94,00	1,58	12,07
Turbidez	NTU	20,00	61,87	1,39	5,68
Sólidos Tot.	mg/L	100,00	85,47	1,43	9,80
OD	% satur	82,00	87,60	2,14	12,46
IQA - NSF	67				
IQA - EES	76				

Com o mesmo critério da Tabela 8 e usando a Tabela 6 como base, foi alterada apenas a nota do parâmetro DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio). Foi comprovado o que se esperava. A redução da qualidade da água também foi reduzida, uma vez que o parâmetro DBO tem relação direta com oxigênio dissolvido, porém com menos intensidade. Ainda como na Tabela 8, a diferença nos resultados entre os dois modelos foi significativa, valendo também uma análise criteriosa.

**TABELA 9 – Resultados da análise da água com alteração da nota do parâmetro Coliformes. Fonte: Tabela produzida pelo autor a partir dos modelos da NSF e EES, 2014.**

Parâmetro	Unidade	Resultados da análise da água	Nota qi (0 a 100)	Nota NSF	Nota EES
Coliformes	NMP/100mL	160.000	3,00	1,18	0,25
pH		6,80	87,72	1,71	7,24
DBO5	mg/L	3,00	69,06	1,53	7,92
Nitrog. Tot.	mgN/L	0,30	97,58	1,58	11,19
Fósforo Tot.	mgP/L	0,05	86,03	1,56	11,05
Difer. Temp.	oC	-	94,00	1,58	12,07
Turbidez	NTU	20,00	61,87	1,39	5,68
Sólidos Tot.	mg/L	100,00	85,47	1,43	9,80
OD	% satur	82,00	87,60	2,14	12,46
IQA - NSF	51				
IQA - EES	78				

Na Tabela 9 é apresentada uma alteração significativa no parâmetro de coliformes termotolerantes, também considerado um dos principais elementos da qualidade da água.

**TABELA 10 – Resultados da análise da água coletados da estação de monitoramento do IGAM BV154. Fonte: Tabela produzida pelo autor a partir dos modelos da NSF e EES, 2014.**

Parâmetro	Unidade	Resultados da análise da água	Nota qi (0 a 100)	Nota NSF	Nota EES
Coliformes	NMP/100mL	160.000	3,00	1,18	0,25
pH		7,30	92,50	1,72	7,64
DBO5	mg/L	12,00	70,60	1,53	8,10
Nitrog. Tot.	mgN/L	0,14	98,90	1,58	11,34
Fósforo Tot.	mgP/L	0,44	34,30	1,42	4,41
Difer.Temp.	oC	-	94,00	1,58	12,07
Turbidez	NTU	16,60	66,30	1,40	6,08
Sólidos Tot.	mg/L	282,00	62,40	1,39	7,16
OD	% satur	66,10	69,60	2,06	9,90
IQA - NSF	44				
IQA - EES	67				

A Tabela 10 foi construída com dados reais retirados do relatório trimestral – Monitoramento da qualidade das águas superficiais no Estado de Minas Gerais produzido pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) - Gerência de Monitoramento Hidrometeorológico. O monitoramento feito pelo IGAM é processado por diversas estações, e especificamente para essa tabela, foram usados os dados da estação de BV154, localizada no córrego do Onça, após a Estação de Tratamento de Esgotos do Onça, administrado pela COPASA.

**TABELA 11 – Resultados da análise da água coletados da estação de monitoramento do IGAM AV005. Fonte: Tabela produzida pelo autor a partir dos modelos da NSF e EES, 2014.**

Parâmetro	Unidade	Resultados da análise da água	Nota qi (0 a 100)	Nota NSF	Nota EES
Coliformes	NMP/100mL	2	90,10	1,96	7,44
pH		7,10	92,00	1,72	7,60
DBO5	mg/L	2,00	78,12	1,55	8,96
Nitrog. Tot.	mgN/L	0,11	99,10	1,58	11,36
Fósforo Tot.	mgP/L	0,01	96,30	1,58	12,37
Difer. Temp.	oC	-	94,00	1,58	12,07
Turbidez	NTU	1,86	95,30	1,44	8,74
Sólidos Tot.	mg/L	29,00	83,60	1,42	9,59
OD	% satur	95,40	96,80	2,18	13,77
IQA - NSF	92				
IQA - EES	92				

A Tabela 11 foi construída com dados reais retirados do relatório trimestral – Monitoramento da qualidade das águas superficiais no Estado de Minas Gerais produzido pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) - Gerência de Monitoramento Hidrometeorológico. O monitoramento feito pelo IGAM é processado por diversas estações, e especificamente para essa tabela, foram usados os dados da estação de AV005, localizada no Rio das Velhas próximo a sua nascente na cidade de Ouro Preto no estado de Minas Gerais.

Para mais uma nova simulação, a Tabela 12 foi construída usando os pesos da NSF nos dois modelos matemáticos e assim poder avaliar os resultados sem que os mesmos interfiram nos resultados.

**TABELA 12 – Resultados da análise da água considerando os mesmos pesos para os dois modelos. Fonte: Tabela produzida pelo autor a partir dos modelos da NSF e EES, 2014.**

Parâmetro	Unidade	Resultados da análise da água	Nota qi (0 a 100)	Nota NSF	Nota EES
Coliformes	NMP/100mL	160.000	3,00	1,18	0,45
pH		7,30	92,50	1,72	11,10
DBO5	mg/L	12,00	70,60	1,53	7,06
Nitrog. Tot.	mgN/L	0,14	98,90	1,58	9,89
Fósforo Tot.	mgP/L	0,44	34,30	1,42	3,43
Difer. Temp.	oC	-	94,00	1,58	9,40
Turbidez	NTU	16,60	66,30	1,40	5,30
Sólidos Tot.	mg/L	282,00	62,40	1,39	4,99
OD	% satur	66,10	69,60	2,06	11,83
IQA - NSF	44				
IQA - EES	63				

A Tabela 12 é uma simulação especial, onde a análise passa a ser apenas no método de cálculo, uma vez que os pesos são iguais. Sendo assim a diferença nos resultados dos índices tem relação apenas na forma como os cálculos foram determinados.

### **Análise dos resultados das planilhas de qualidade da água**

Na simulação representada na Tabela 6, os resultados entre os dois modelos matemáticos demonstraram uma equivalência, devido aos índices NSF e EES estarem próximos (81 e 83). A partir da Tabela 6, os valores foram alterados para que fosse possível uma análise em diversas situações diferentes.

Para a Tabela 6, optou-se por alterar os valores da maioria dos parâmetros com o objetivo de colocar a qualidade da água no melhor índice possível. Nesse caso observou-se uma igualdade nos resultados entre os dois modelos matemáticos para IQA. Com isso, concluiu-se que não houve diferença nos resultados, mesmo sendo os cálculos de cada modelo bem diferentes.

A Tabela 7 demonstrou um processo inverso quando comparado com a Tabela 6. Os dados da Tabela 7 representam uma qualidade na água inferior aos dados da Tabela 6. Nessa simulação constatou-se uma diferença de 28% entre os resultados dos dois modelos matemáticos. Vale ressaltar que o parâmetro oxigênio dissolvido (OD) foi submetido a alteração na Tabela 7.

A Tabela 8 recebeu uma mudança no parâmetro DBO e constatou uma diferença menor nos resultados entre os modelos (15%). Em primeira análise observa-se que essa redução na diferença com a Tabela 7 está relacionado com o peso do parâmetro DBO que é menor que o parâmetro OD.

A simulação apresentada na Tabela 9 foi a mais preocupante, pois a diferença ficou em 53% nos índices entre os dois modelos. Como observado na Tabela 8, esse aumento está diretamente relacionado com o peso, onde as diferenças entre os dois modelos matemáticos são significativas.

A Tabela 10 representando dados reais de um corpo hídrico apresentou-se com uma diferença significativa nos resultados dos índices entre os dois modelos. 52% foi a diferença constatada entre os dois modelos matemáticos.

A Tabela 11, também representada por dados reais não apresentou nenhuma diferença nos resultados dos índices quando comparam-se os dois modelos matemáticos.

A Tabela 12 volta a apresentar uma diferença significativa entre os dois modelos. O destaque para essa simulação foi a determinação de igualdade nos pesos dos dois modelos estudados. Isso demonstra que as diferenças entre os pesos dos parâmetros entre os dois modelos matemáticos não interferem de forma significativa na diferença entre os resultados dos índices.

### Resumo das diferenças nas relações dos índices

Como apresentado na metodologia, o trabalho propôs um estudo entre dois modelos matemáticos para qualidade ambiental. Na Tabela 13, é apresentado um resumo dos índices dos modelos, com a diferença entre esses resultados, facilitando assim a interpretação das diversas simulações.

**TABELA 13** – Relação dos índices entre os dois modelos estudados. Fonte: Tabela produzida pelo autor para interpretação da escala de Tamby & Cedenborg, 2014.

Planilha Nº Tabela	Índice NSF	Índice EES	Percentual de diferença entre os modelos
6	0,81	0,83	2%
7	0,97	0,97	0%
8	0,56	0,72	28%
9	0,67	0,76	13%
10	0,51	0,78	53%
11	0,44	0,67	52%
12	0,92	0,92	0%
13	0,44	0,63	43%

A Tabela 13 apresenta resultados significativos que possibilita concluir que, quanto menor a qualidade da água, maior é a diferença entre os modelos. Tal divergência aponta para essa faixa de valores, maior risco na interpretação dos resultados dos índices.

### Interpretação das Planilhas com a escala de Tamby & Cedeborg

Com o objetivo de representar uma descrição textual da qualidade ambiental em relação aos índices calculados nas tabelas de simulação, a Tabela 14 demonstra através da escala proposta por Tamby & Cedeborg citada por Tommasi (1994), qual a magnitude dos impactos ao meio ambiente. É uma forma de facilitar a interpretação do analista. Com essa interpretação, o analista ambiental poderá ter uma melhor visão do estudo e propor soluções de compensação ou mitigação mais coerentes com a realidade do meio.

**TABELA 14 – Resumo das Planilhas com resultados associados à escala de Tamby & Cedeborg. Fonte: Tabela produzida pelo autor para interpretação da escala de Tamby & Cedeborg, 2014.**

Planilha Nº Tabela	Índice de qualidade da água	Nível de Degradação Ambiental
6	NSF=0,81	Degradação pequena de curta duração, insignificante a longo prazo.
	EES=0,83	Degradação pequena de curta duração, insignificante a longo prazo
7	NSF=0,97	Sem impacto relevante
	EES=0,97	Sem impacto relevante
8	NSF=0,56	Degradação intensa; insignificante a longo prazo
	EES=0,72	Degradação moderada; insignificante a longo prazo; distúrbio intermitente de baixo nível
9	NSF=0,67	Degradação moderada; insignificante a longo prazo; distúrbio intermitente de baixo nível
	EES=0,76	Degradação pequena de curta duração, insignificante a longo termo
10	NSF=0,51	Degradação severa, mas de curta duração; insignificante a longo prazo; degradação total de apenas parte de um aspecto ambiental
	EES=0,78	Degradação pequena de curta duração, insignificante a longo termo
11	NSF=0,44	Degradação menor, ou contínua, mas de baixo nível
	EES=0,67	Degradação moderada; insignificante a longo prazo; distúrbio intermitente de baixo nível
12	NSF=0,92	Sem impacto relevante
	EES=0,92	Sem impacto relevante
13	NSF=0,44	Degradação menor, ou contínua, mas de baixo nível
	EES=0,63	Degradação intensa; insignificante a longo prazo

A Tabela 10 possui dados reais e representa um exemplo que demonstra o quanto a divergência entre os modelos pode ser preocupante. De acordo com Tamby e Cedeborg a interpretação do índice do modelo NSF representa uma degradação pequena. Mas para o modelo EES, o índice representa uma degradação moderada. Com interpretação diferente o analista poderá tomar decisão incoerente e até prejudicar o meio ambiente.

### CONCLUSÕES

Modelos matemáticos deveriam ser usados com mais frequência em análises ambientais por apresentar boas eficiências e confiabilidade nos resultados. Por isso a importância desse trabalho em demonstrar com detalhes os processos e cálculos envolvidos em dois modelos matemáticos para qualidade de água.

Diante dos dois modelos matemáticos estudados, cada um com suas vantagens e desvantagens, pôde-se comprovar que ambos têm uma importância fundamental nos estudos de impactos ambientais. Mas é necessária uma atenção maior para avaliar a sensibilidade dos cálculos quando os dois modelos diferem de forma significativa entre os resultados.

O modelo da NSF apresenta uma melhor metodologia de cálculo e a EES apresenta uma melhor abrangência de parâmetros com seus devidos pesos de importância. Com isso, abre-se uma grande oportunidade de unificar os dois modelos numa única matriz e assim poder representar a qualidade não apenas da água como também do meio ambiente afetado por uma determinada atividade.

Foi constatado que a fórmula empregada pela NSF representa um índice mais equilibrado por não tender o resultado quando existem muitas notas mais altas ou mais baixas, ao contrário da EES que conduz o resultado do índice para o

grupo de notas mais equitativas. O procedimento do modelo da EES é equivalente a um cálculo de média aritmética. Se a maioria das notas dos parâmetros for mais elevada, o resultado tenderá para cima. Quando a maioria das notas for menor, o resultado tenderá para baixo.

O estudo da união dos dois modelos passa a ser extremamente importante quando observada uma relação entre as diferenças nos índices dos dois modelos em baixa qualidade de água. Constatou-se um aumento na diferença entre os resultados dos índices dos dois modelos à medida que a qualidade da água reduz.

Apesar da eficiência nos processos dos dois modelos, ainda existe um ponto que é questionado por vários especialistas: a subjetividade na definição dos pesos para cada parâmetro. O peso de cada parâmetro é uma das principais variáveis que tem uma importância significativa nos cálculos dos dois modelos estudados.

Vale ressaltar que a matriz de Leopold, aqui também estudada propõe a apresentação resumida de um estudo de aspectos e impactos ambientais numa única área, facilitando assim a visualização do analista. Porém, quando usada pelos analistas ambientais, não cria nenhum índice que representa a qualidade ambiental apresentada pela matriz.

A evolução desse estudo será a união dos dois modelos matemáticos dentro de uma matriz de aspectos e impactos ambientais idealizada por Leopold, gerando um índice que representa a qualidade ambiental da atividade estudada. A união desses dois modelos será essencialmente o uso dos pontos positivos de cada um.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Academia Pearson. Gestão ambiental. São Paulo: Pearson, 2010, 312 p.
2. Broissia, Michel. Selected mathematical models in environmental impact assessment in Canada, disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.131.5655&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 28 mar 2014.
3. IBAMA, Manual de Impactos Ambientais - Orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas, disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/arquivos/manual\\_bnb.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/arquivos/manual_bnb.pdf)>. Acesso em: 10 abr 2014.
4. Leopold, L. B. et al. A Procedure for Evaluating Environmental Impact. Geological Survey Circular. Washington, 645, 1971.
5. Ministério do Meio Ambiente, Resolução CONAMA Nº 001 de 23 de Janeiro de 1986. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 22 mar. 2014.
6. Moreira, Maria Suely. Estratégia e implantação do sistema de gestão ambiental: modelo ISSO 14000. Belo Horizonte: DG, 2001, 288 p.
7. Ponce, Victor M. The Battelle environmental evaluation system for water resource planning. Disponível em: <[http://ponce.sdsu.edu/the\\_battelle\\_ees.html](http://ponce.sdsu.edu/the_battelle_ees.html)>. Acesso em: 25 abr. 2014.
8. Sánchez, Luiz Henrique. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, 495 p.
9. Sperling, von Marcos. Estudo e modelagem da qualidade da água de rios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: UFMG, 2007, 588 p.
10. Tommasi, Luiz Roberto. Estudo de impacto ambiental. São Paulo: CETESB, 1994, 354 p.
11. Ferreira, Aurélio Buarque de Holanda. Dicionário Aurélio Básico da Língua Portuguesa. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2000.
12. ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14.001/2004 - Sistema de Gestão Ambiental: Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.
13. Política Nacional de Meio Ambiente: Decreto nº 88.351, de 1º de Junho de 1983, Brasília, DF.
14. IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas - Gerência de Monitoramento Hidrometeorológico, Relatório trimestral – Monitoramento da qualidade das águas superficiais no Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.