



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CÂMPUS DE REGISTRO



IDENTIFICAÇÃO DE FAMÍLIAS DE TILÁPIA (*Oreochromis niloticus*) RESISTENTES A BAIXA TEMPERATURA

LEONARDO SEGALLA CORREA

Registro – SP

Julho - 2026



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CÂMPUS DE REGISTRO



IDENTIFICAÇÃO DE FAMÍLIAS DE TILÁPIA (*Oreochromis niloticus*) RESISTENTES A BAIXA TEMPERATURA

LEONARDO SEGALLA CORRÊA

Orientador: Prof. Dr. Rafael Vilhena Reis
Neto

Trabalho de Graduação apresentado como
requisito parcial para obtenção do título de
BACHAREL EM ENGENHARIA DE
PESCA

Registro – SP

Julho – 2026

S454i

Segalla Corrêa, Leonardo

IDENTIFICAÇÃO DE FAMÍLIAS DE TILÁPIA (*Oreochromis niloticus*) RESISTENTES A BAIXA TEMPERATURA / Leonardo

Segalla Corrêa. -- Registro, 2026

19 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Pesca) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira, Registro

Orientador: Rafael Vilhena Reis Neto

1. Genética animal. 2. Aquicultura. 3. Tilápia. 4. Melhoramento genético. 5. Tolerância ao frio. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

CERTIFICADO

TRABALHO DE GRADUAÇÃO/ TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DO CURSO
DE ENGENHARIA DE PESCA

TÍTULO: "IDENTIFICAÇÃO DE FAMÍLIAS DE TILÁPIA (*Oreochromis niloticus*)
RESISTENTES A BAIXA TEMPERATURA"

ACADÊMICO: LEONARDO SEGALLA CORRÊA

ORIENTADOR: PROF. DR. RAFAEL VILHENA REIS NETO

PERÍODO: 9º Semestre 5º Ano

Aprovado: ☒

Reprovado: ☐

COMISSÃO AVALIADORA:

(Nomes)

Presidente Prof. Dr. RAFAEL VILHENA REIS NETO

Documento assinado digitalmente
 RAFAEL VILHENA REIS NETO
Data: 06/07/2026 15:27:39-0300
Verifique em <https://validar.it6.gov.br>

Membro Profa. Dra. JULIA MYRIAM DE
ALMEIDA PEREIRA

Documento assinado digitalmente
 JULIA MYRIAM DE ALMEIDA PEREIRA
Data: 07/07/2026 09:34:47-0300
Verifique em <https://validar.it6.gov.br>

Membro Dr. GABRIEL RINALDI LATTANZI

Documento assinado digitalmente
 GABRIEL RINALDI LATTANZI
Data: 06/07/2026 16:06:10-0300
Verifique em <https://validar.it6.gov.br>

Registro, 06 / 07 / 2026

DEDICATÓRIA

Dedico à minha família que durante todos os anos de estudo me apoiaram, acreditaram e nunca me deixaram cair, também a minha namorada que sempre me apoiou durante este período. E aos meus amigos e parceiros que estiveram junto e agregaram em todo meu aprendizado que levou ao desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tudo, também à minha família, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo força, incentivo e amor. Cada palavra de apoio foi fundamental nos momentos de cansaço e dúvida.

À minha namorada, pela paciência e compreensão ao longo dessa jornada. Seu apoio foi um porto seguro nos dias difíceis e uma motivação de seguir em frente constantemente.

Aos meus amigos, que estiveram comigo durante os desafios da vida acadêmica, as horas de estudo, as conversas de futuro e os incentivos sinceros.

Agradeço também aos professores que fizeram parte da minha formação, principalmente pelo exemplo de dedicação, ética e compromisso com o ensino. Suas orientações foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao orientador Prof. Dr. Rafael Vilhena Reis Neto, pela oportunidade concedida ao longo desses anos, pelos ensinamentos, pela confiança depositada em meu trabalho e pela paciência durante todo o processo de formação acadêmica.

A toda a equipe do Prof. Dr. Rafael Vilhena Reis Neto, amigos e parceiros Heloísa Moisés Burini, Paula Nunes Rodrigues, Thaís Gornati Gonçalves, John Fredy Gómez, Gabriel Rinald Lattanzi, Woshington Rocha Gervaz, Matheus Ryan Silva Julio e Vinicius Zabotto pela convivência, apoio, troca de conhecimentos e parceria ao longo desta trajetória.

Ao apoio do Prof. Dr. Caio Augusto Perazza e ao NPOP Fapesp processo 2020/06830-9.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar sobrevivência de famílias de tilápia (*Oreochromis niloticus*) submetidas à redução controlada de temperatura, visando identificar linhagens com maior tolerância ao frio para subsidiar programas de melhoramento genético. Para isso, foram constituídas 40 famílias a partir de matrizes e reprodutores de diferentes origens geográficas, garantindo a máxima variabilidade genética da população base. Após atingirem 10 g de peso médio, animais de cada família foram identificados individualmente por meio de implante de microchips (PIT-Tag) assegurando a rastreabilidade do *pedigree* durante todo o ensaio. O desafio térmico foi conduzido em caixas de polietileno conectadas a um Sistema de Recirculação de Água (RAS). Após aclimação a 28 °C, a temperatura da água foi reduzida gradativamente em 1 °C por dia, até atingir 10 °C ou a mortalidade total dos animais. O monitoramento ocorreu diariamente para contagem dos peixes mortos e cálculo de sobrevivência de cada família. Os dados de resistência térmica (horas até a morte) foram analisados por meio do ajuste de curvas de sobrevivência seguindo a metodologia de Kaplan-Meier. As estimativas de tempo de vida foram comparadas par a par utilizando o método de *log-rank*, com o nível de significância ajustado pela correção de Bonferroni. Os resultados revelaram variações significativas na tolerância ao frio entre as famílias avaliadas. A família renomeada como F17 gerada a partir do cruzamento entre reprodutores do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) CE e Ilhota (ILH) SC foi o que apresentou a melhor performance de sobrevivência, iniciando a contagem de horas de sobrevivência a partir de 14°C, suportando temperatura de até 10°C. Por outro lado, o grupo menos tolerante registrado foi a família 1 (JUN × ILH), evidenciando a forte influência da genética na tolerância térmica.

Palavras-chave: *O. niloticus*, desafio, tolerância ao frio, melhoramento genético.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) families subjected to a controlled temperature reduction, aiming to identify lineages with higher cold tolerance to support genetic improvement programs. To this end, 40 families were established from broodstock of different geographical origins, ensuring maximum genetic variability in the base population. Upon reaching an average weight of 10 g, animals from each family were individually identified by means of microchip implants (PIT-Tag), ensuring pedigree traceability throughout the trial. The thermal challenge was conducted in polyethylene tanks connected to a Recirculating Aquaculture System (RAS). Following acclimation at 28 °C, the water temperature was gradually reduced by 1 °C per day until reaching 10 °C or total mortality of the animals. Daily monitoring was performed to count the dead fish and calculate the survival of each family. Thermal resistance data (hours to death) were analyzed by fitting survival curves following the Kaplan-Meier methodology. Lifespan estimates were compared pairwise using the log-rank method, with the significance level adjusted by the Bonferroni correction. The results revealed significant variations in cold tolerance among the evaluated families. The family renamed as F17, generated from the crossbreeding between broodstock from the National Department of Works Against Droughts (DNOCS) CE and Ilhota (ILH) SC, presented the best survival performance, starting the survival hour count at 14 °C and withstanding temperatures down to 10 °C. Conversely, the least tolerant group recorded was family 1 (JUN × ILH), evidencing the strong influence of genetics on thermal tolerance.

Keywords: challenge, cold tolerance, genetic improvement, *O. niloticus*.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	10
2. OBJETIVOS	12
2.1. <i>Objetivo geral</i>	12
2.2. <i>Objetivos específicos</i>	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 Formação da população experimental	12
3.2 Manejo e criação dos animais	13
3.3 Protocolo de desafio térmico	13
3.4 Obtenção dos dados de sobrevivência	14
3.5 Análises estatísticas	14
4. RESULTADOS	15
5. DISCUSSÃO	18
6. CONCLUSÃO	19
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A aquicultura vem se consolidando como o setor de produção animal de maior crescimento no mundo, tendo a produção global atingido o recorde de aproximadamente 103 milhões de toneladas, o que representa um 53% da produção total de pesca e aquicultura, que alcançou a marca de 195 milhões de toneladas no ano de 2024 (FAO, 2026). Esse avanço contínuo é impulsionado pela crescente demanda por proteína de origem aquática e pela estagnação das pescarias extrativas, com a aquicultura superando a pesca tradicional na produção de animais aquáticos. No cenário latino-americano, observa-se um desenvolvimento expressivo da aquicultura, consolidando a região como um dos principais polos mundiais de crescimento, liderado por gigantes do setor como Chile, Equador e Brasil (FAO, 2026).

Dentro desse contexto, o Brasil ultrapassa pela primeira vez a marca de 1,011 milhão de toneladas de peixes em 2025, um crescimento de 4,41% em relação ao ano anterior (PEIXE BR, 2026). Dentre as espécies, a tilápia representa aproximadamente 70% da produção nacional, consolidando-se como o carro-chefe da piscicultura brasileira. Essa predominância decorre de fatores como excelente desempenho zootécnico, alta eficiência alimentar, rusticidade, ampla aceitação comercial e presença de um pacote tecnológico bem estruturado que otimiza toda a cadeia produtiva, e não apenas o desempenho isolado da espécie, englobando avanços em nutrição, reprodução e manejo sanitário (KUBITZA, 2000; VALENTIN et al., 2021). O país ocupa atualmente a quarta posição mundial na produção da espécie, com 707.495 toneladas anuais, ficando atrás apenas de China, Indonésia e Egito, e superando tradicionais produtores asiáticos como Filipinas e Tailândia (FAO, 2026; PEIXE BR, 2026).

Parte significativa da tilapicultura é produzida em tanques-rede, apesar da expressiva expansão e do potencial aquícola do país que detém cerca de 13% da água doce renovável do planeta e uma extensa rede de reservatórios gerados por usinas hidrelétricas (ROCHA et al., 2013) ainda existem limitações que restringem a produção em determinadas áreas. Um dos principais desafios é a temperatura da água, especialmente em regiões de clima subtropical e temperado, como o Sul e parte do Sudeste do Brasil, onde o inverno pode reduzir significativamente o desempenho produtivo da tilápia (KUBITZA, 2000).

Embora seja uma espécie tropical, a tilápia do Nilo apresenta notável resistência fisiológica, sendo capaz de sobreviver e manter-se ativa em temperaturas inferiores ao seu intervalo ótimo de crescimento. No entanto, temperaturas persistentemente baixas, reduzem o metabolismo, a ingestão alimentar e, conseqüentemente, a taxa de crescimento, além de aumentarem a suscetibilidade a doenças e a mortalidade (Sun et al., 1992; Dan & Little, 2000; Ma et al., 2015; Shi et al., 2015; Nobrega et al., 2019; Abdel-Ghany et al., 2019; Nobrega et al., 2020). Essa sensibilidade térmica representa um desafio econômico importante, principalmente para regiões onde as temperaturas aquáticas permanecem abaixo de 20 °C por longos períodos (Nobrega et al., 2022; Pimolrat et al., 2013).

Nesse contexto, a resistência da tilápia a baixas temperaturas tem sido associada a fatores genéticos intrínsecos, apresentando herdabilidade significativa (Cnaani, Gall & Hulata, 2000; Atwood et al., 2003). Assim, a identificação e o melhoramento de linhagens com maior tolerância ao frio configuram uma alternativa promissora para a expansão da tilapicultura em regiões de clima subtropical, contribuindo para o aumento da produtividade e da estabilidade econômica do setor. Programas de melhoramento genético orientados à adaptação térmica podem não apenas otimizar o desempenho zootécnico, mas também reduzir a mortalidade e os custos energéticos, fortalecendo a criação sustentável da espécie.

Conseqüentemente, a aplicação do estimador não paramétrico de Kaplan-Meier (KAPLAN; MEIER, 1958) permite descrever de forma robusta a probabilidade de sobrevivência de uma população ao longo do tempo de exposição ao estresse. Adicionalmente, a utilização do teste de log-rank atua como o mecanismo estatístico ideal para comparar essas curvas entre diferentes grupos, possibilitando verificar se as divergências de tolerância entre as famílias avaliadas são estatisticamente significativas. A aplicação conjunta destas ferramentas analíticas em experimentos de resistência confere alto rigor metodológico à pesquisa (YOSHIDA; YÁÑEZ, 2021). Dessa forma, a adoção dessa abordagem justifica-se por retratar fielmente a dinâmica de mortalidade da espécie durante a redução térmica, viabilizando a identificação precisa das linhagens mais aptas e fornecendo dados robustos para direcionar programas de seleção genética.

Dessa forma, o presente estudo busca compreender e avaliar o desempenho de tilápias do Nilo sob condições controladas de temperatura, contribuindo com subsídios técnicos e científicos para futuros programas de seleção genética. Além disso, os resultados esperados poderão orientar estratégias produtivas adaptadas às diferentes

realidades climáticas brasileiras, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) especialmente o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), o ODS 3 (Saúde e Bem-Estar) e o ODS 12 (Produção e Consumo Responsáveis), promovendo uma aquicultura mais eficiente, resiliente e ambientalmente responsável.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Identificar famílias de tilápia (*Oreochromis niloticus*) com maior tolerância a baixa temperatura por meio de um desafio controlado para fornecer subsídios a programas de melhoramento genético.

2.2. Objetivos específicos

- Submeter 40 famílias de tilápia a um desafio térmico por meio de um protocolo de redução controlada de temperatura;
- Ajustar curvas de sobrevivência para as famílias de tilápias utilizando a metodologia de Kaplan-Meier;
- Comparar estatisticamente as curvas de sobrevivência das famílias utilizando o teste de log-rank.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Formação da população experimental

Inicialmente foi realizada a busca por matrizes e reprodutores de diferentes origens: Ilhota – SC, Toledo – PR, Registro – SP, Salesópolis – SP, Jundiaí – SP, Universidade Federal de Lavras (UFLA) – MG e Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) – CE, visando gerar uma população base com a máxima variabilidade genética possível. Este processo incluiu a obtenção de animais provenientes de regiões com índices frequentes de baixas temperaturas, buscando assim maior adaptação a climas mais amenos.

A constituição das famílias ocorreu no Instituto de Pesca – IP/APTA em São José do Rio Preto, foram utilizadas hapas de reprodução (1m x 1m) na proporção 1:1 (macho:fêmea) por hapa; as fêmeas eram avaliadas diariamente, ao se observar a presença

de ovos na cavidade bucal, estes eram coletados e transferidos para um sistema de incubadoras artificiais separadamente por família. Em seguida a fêmea era substituída por outra que se acasalou com o mesmo macho.

3.2 Manejo e criação dos animais

Após a eclosão dos ovos coletados, as larvas foram transferidas para hapas de 2m² em lotes separados também por família, onde permaneceram até que os animais atingiram uma média de 10 gramas para identificação individual. Todas as famílias foram identificadas com microchips (PIT-Tag) implantados, visando manter as informações do pedigree durante o teste de crescimento e desafio da temperatura.

3.3 Protocolo de desafio térmico



Figura 1. Peixes sendo coletados e direcionados para a caixa de transporte.

No dia 10 de março de 2026, os peixes foram transportados da unidade do Instituto de Pesca de São José do Rio Preto diretamente para o Laboratório de Desafios à Mudanças Climáticas (LDMC), Câmpus de Registro (SP). 1072 peixes foram distribuídos igualmente em 8 caixas de polietileno de 500 L, operando em um sistema de recirculação equipado com aeradores, aquecedor e um Chiller Industrial (Evacon – Brasil) que permitiu o controle de temperatura da água, oxigênio e qualidade da água. A dieta inicialmente ofertada foi a ração extrusada comercial com 40% PB, após aclimação de 7 dias a 28 °C, iniciou o teste de tolerância térmica, reduzindo a temperatura em 1 °C por dia até atingir 10 °C.



Figura 2. Sistema utilizado no laboratório para manter os peixes.

3.4 Obtenção dos dados de sobrevivência

Durante este período as caixas foram monitoradas diariamente para contagem e registro dos animais mortos para o cálculo da sobrevivência e resistência térmica (horas até a morte), conforme proposto por Yoshida & Yáñez (2021).

A análise de sobrevivência foi realizada utilizando dados de 987 indivíduos que permaneceram com o microchip, aqueles que não tinham mais identificação foram descartados, todos previamente identificados e organizados conforme a família. As famílias foram recodificadas sequencialmente de F1 a F40, de acordo com a ordem estabelecida no arquivo de plantel, mantendo-se a correspondência com a família original e a respectiva origem genética, proveniente do cruzamento entre as origens parentais. O tempo de resistência térmica (horas até a morte) foi utilizado como variável temporal. Considerando-se como evento a mortalidade dos indivíduos durante o desafio experimental, seriam considerados mortos aqueles que não respondessem a estímulos mecânicos. Os indivíduos sobreviventes ao término do desafio foram considerados com a duração total de todo o experimento, um total de 206 horas.

3.5 Análises estatísticas

As curvas de sobrevivência foram estimadas pelo método de Kaplan-Meier, amplamente utilizado em análises de tempo até evento em estudos biológicos e experimentais. As diferenças entre as curvas de sobrevivência das famílias foram avaliadas por meio do teste de log-rank, com ajuste de Bonferroni para as comparações múltiplas. As estimativas de sobrevivência e seus respectivos intervalos de confiança de 95% foram obtidos a partir das curvas de Kaplan-Meier. Todas as análises estatísticas e a

elaboração das figuras e tabelas foram realizadas no software R (R Core Team, 2024), utilizando principalmente os pacotes survival, survminer e dplyr.

4. RESULTADOS

Nas figuras 3 e 4 as curvas de sobrevivência de Kaplan-Meier apresentaram comportamentos distintos entre as 40 famílias de tilápia avaliadas durante o desafio térmico. Observou-se redução gradual da probabilidade acumulada de sobrevivência ao longo do tempo para todas as famílias, com maior concentração de eventos de mortalidade entre aproximadamente 155 e 190 horas de exposição.

As famílias classificadas nas primeiras posições do ranking apresentaram maiores probabilidades acumuladas de sobrevivência ao longo do experimento, destacando-se as famílias F17, F6, F4 e F15. Em contrapartida, as famílias F1 e F30 apresentaram menores probabilidades de sobrevivência ao final do desafio térmico.

Ao término do experimento, as curvas apresentaram ampla variação na sobrevivência final entre as famílias avaliadas, refletindo os diferentes padrões observados ao longo do período experimental.

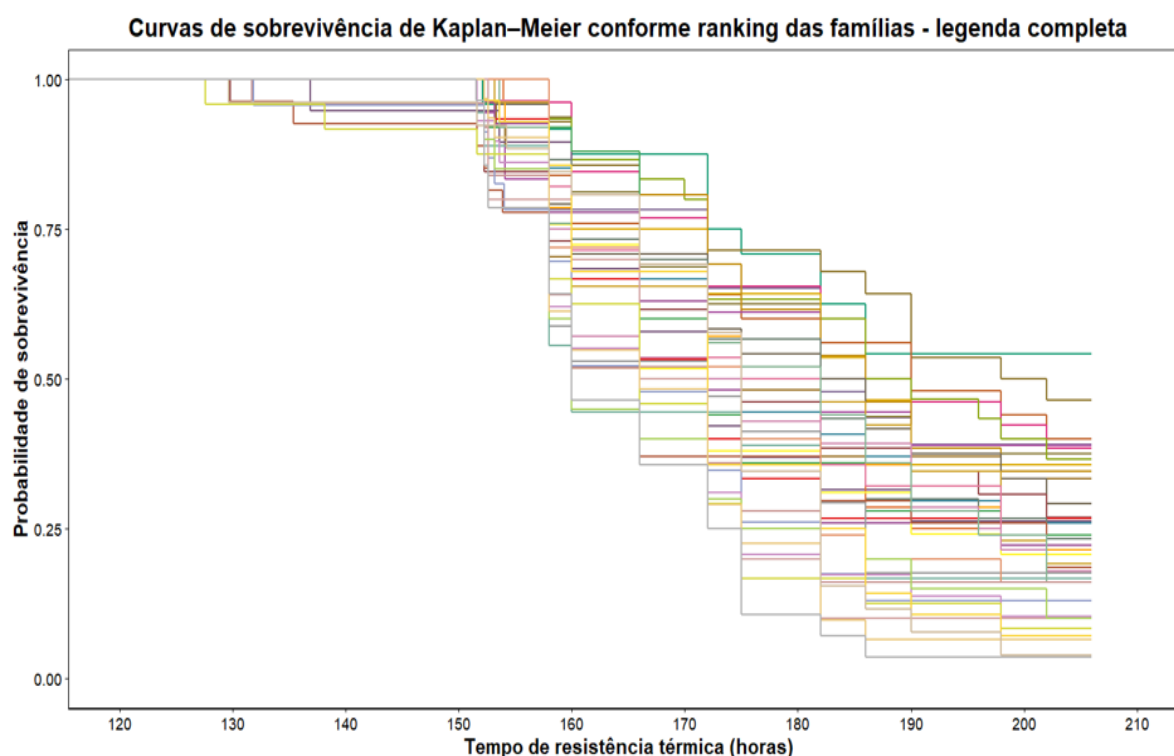


Figura 3. Curvas de sobrevivência de Kaplan-Meier das famílias de tilápia com identificação completa do ranking genético.

Ranking das famílias

R1 = F17 (54,17%) - DNC x ILH	R2 = F6 (46,43%) - DNC x ILH
R3 = F4 (40,00%) - DNC x SAW	R4 = F15 (39,13%) - REG x ILH
R5 = F11 (38,89%) - UFL x UFL	R6 = F25 (38,46%) - REG x ILH
R7 = F40 (37,50%) - UFG x ILH	R8 = F2 (36,67%) - DNC x DNC
R9 = F21 (35,71%) - ILH x DNC	R10 = F14 (34,62%) - DNC x SAW
R11 = F3 (33,33%) - DNC x ILH	R12 = F27 (29,17%) - REG x ILH
R13 = F28 (26,92%) - TOL x ILH	R14 = F26 (26,67%) - REG x ILH
R15 = F36 (26,32%) - JUN x ILH	R16 = F33 (25,93%) - REG x REG
R17 = F18 (24,00%) - DNC x ILH	R18 = F13 (23,33%) - ILH x DNC
R19 = F37 (22,22%) - UFL x REG	R20 = F24 (21,43%) - ILH x ILH
R21 = F12 (21,43%) - DNC x ILH	R22 = F22 (20,69%) - ILH x ILH
R23 = F23 (19,23%) - UFL x UFL	R24 = F29 (18,52%) - REG x ILH
R25 = F16 (17,86%) - ILH x ILH	R26 = F19 (17,86%) - REG x ILH
R27 = F8 (17,65%) - DNC x SAW	R28 = F7 (16,67%) - SAR x SAR
R29 = F32 (16,00%) - DNC x DNC	R30 = F5 (16,00%) - DNC x DNC
R31 = F9 (16,00%) - DNC x DNC	R32 = F34 (13,04%) - ILH x SAW
R33 = F38 (10,34%) - UFL x ILH	R34 = F10 (10,00%) - DNC x DNC
R35 = F39 (10,00%) - DNC x REG	R36 = F31 (8,33%) - ILH x ILH
R37 = F35 (7,14%) - REG x DNC	R38 = F20 (6,45%) - ILH x DNC
R39 = F30 (3,85%) - UFL x ILH	R40 = F1 (3,57%) - JUN x ILH

Figura 4. Legenda do gráfico de curvas de sobrevivência de Kaplan–Meier das famílias de tilápia com identificação completa do ranking genético.

Na tabela 1 as estimativas de sobrevivência obtidas pelo método de Kaplan-Meier evidenciaram ampla variação entre as 40 famílias avaliadas. A sobrevivência final variou de 3,57% a 54,17%, sendo observadas diferenças expressivas tanto no percentual de sobrevivência quanto no tempo médio estimado de resistência térmica.

As maiores taxas de sobrevivência foram registradas nas famílias F17 (DNC × ILH), F6 (DNC × ILH), F4 (DNC × SAW) e F15 (REG × ILH), que apresentaram sobrevivência final superior a 39%. As famílias F17 e F6 também apresentaram os maiores tempos médios estimados de resistência térmica, com 190,63 e 190,07 horas, respectivamente.

Em contraste, as menores taxas de sobrevivência foram observadas nas famílias F1 (JUN × ILH), F30 (UFL × ILH), F20 (ILH × DNC) e F35 (REG × DNC), cujos percentuais finais de sobrevivência foram inferiores a 8%.

Esses resultados permitiram identificar as famílias com maior e menor desempenho frente ao desafio térmico, atendendo ao objetivo de classificar os grupos familiares quanto à tolerância a baixas temperaturas.

Tabela 1. Estimativas de Kaplan–Meier do tempo de resistência térmica e agrupamento pelo teste de log-rank para 40 famílias de tilápia submetidas ao desafio térmico experimental.

Ranking	Família recodificada	Família original	Origem_MxF	N	Sobrevivência (%)	Estimativa IC95%
1	F17	78	DNC x ILH	24	54,17	190,63 (182,74-198,52) a
2	F6	118	DNC x ILH	28	46,43	190,07 (182,79-197,35) a
3	F4	135	DNC x SAW	25	40	186,12 (177,67-194,57) abc
4	F15	75	REG x ILH	23	39,13	185,39 (177,05-193,73) abc
5	F11	105	UFL x UFL	18	38,89	182,64 (171,70-193,58) abc
6	F25	86	REG x ILH	26	38,46	187,01 (179,35-194,67) ab
7	F40	104	UFG x ILH	16	37,5	184,88 (174,62-195,13) abc
8	F2	129	DNC x DNC	30	36,67	187,47 (180,74-194,20) ab
9	F21	82	ILH x DNC	28	35,71	184,63 (177,09-192,16) ab
10	F14	123	DNC x SAW	26	34,62	185,62 (178,19-193,04) ab
11	F3	130	DNC x ILH	27	33,33	180,07 (171,64-188,51) abc
12	F27	88	REG x ILH	24	29,17	182,59 (174,13-191,05) abc
13	F28	92	TOL x ILH	26	26,92	178,11 (168,90-187,33) abc
14	F26	87	REG x ILH	15	26,67	176,54 (165,59-187,50) abc
15	F36	126	JUN x ILH	19	26,32	176,61 (166,43-186,78) abc
16	F33	119	REG x REG	27	25,93	180,48 (173,14-187,82) abc
17	F18	79	DNC x ILH	25	24	178,83 (171,29-186,38) abc
18	F13	71	ILH x DNC	30	23,33	181,27 (174,48-188,05) abc
19	F37	132	UFL x REG	27	22,22	177,57 (170,30-184,84) abc
20	F24	85	ILH x ILH	28	21,43	179,39 (172,36-186,42) abc
21	F12	70	DNC x ILH	28	21,43	179,20 (171,94-186,47) abc
22	F22	83	ILH x ILH	29	20,69	176,68 (169,60-183,76) abc
23	F23	103	UFL x UFL	26	19,23	180,35 (172,48-188,23) abc
24	F29	91	REG x ILH	27	18,52	171,90 (162,71-181,10) abc
25	F16	73	ILH x ILH	28	17,86	179,77 (172,59-186,95) abc
26	F19	80	REG x ILH	28	17,86	177,57 (170,00-185,14) abc
27	F8	124	DNC x SAW	17	17,65	174,53 (165,02-184,04) abc
28	F7	122	SAR x SAR	18	16,67	171,82 (162,37-181,28) abc
29	F32	90	DNC x DNC	25	16	179,85 (172,15-187,55) abc
30	F5	136	DNC x DNC	25	16	176,84 (169,92-183,76) abc
31	F9	125	DNC x DNC	25	16	170,69 (162,66-178,71) abc
32	F34	121	ILH x SAW	23	13,04	169,56 (161,41-177,70) abc
33	F38	131	UFL x ILH	29	10,34	170,38 (164,04-176,72) abc
34	F10	134	DNC x DNC	10	10	170,42 (159,21-181,63) abc
35	F39	133	DNC x REG	20	10	170,13 (161,64-178,62) abc
36	F31	84	ILH x ILH	24	8,33	168,35 (160,63-176,07) abc
37	F35	77	REG x DNC	28	7,14	174,07 (168,32-179,81) abc
38	F20	81	ILH x DNC	31	6,45	169,03 (163,89-174,18) bc
39	F30	94	UFL x ILH	26	3,85	173,37 (167,20-179,53) abc
40	F1	127	JUN x ILH	28	3,57	165,48 (160,62-170,35) c

5. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo sugerem uma variação genética expressiva e significativa na tolerância ao estresse por baixas temperaturas entre as 40 famílias de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) avaliadas. A constatação de divergências consistentes nas curvas de sobrevivência, confirmadas pelo teste de log-rank ($p < 0,001$), indica de forma robusta que a resistência térmica possui um forte componente genético.

A análise detalhada do ranqueamento de sobrevivência revelou desempenhos notavelmente contrastantes entre os cruzamentos. A família recodificada como F17, obteve a melhor performance sob o desafio térmico. Esta família suportou a redução gradativa da água até 10 °C mantendo 54,17% de sobrevivência e apresentando a maior estimativa média de resistência, fixada em 190,63 horas. De maneira geral, observou-se uma clara tendência de maior estabilidade térmica em famílias derivadas de linhagens originárias do DNC e de ILH.

Em contrapartida, constatou-se mais vulnerável à redução de temperatura a família F1 (JUN × ILH), por exemplo, encerrou o teste com o pior desempenho, registrando apenas 3,57% de sobrevivência e uma estimativa de resistência média de 165,48 horas. Essa disparidade biológica entre os melhores e piores desempenhos acentua a forte influência da genética na resposta ao estresse térmico e alerta para a importância da escolha adequada e direcionada das origens parentais na composição de plantéis comerciais.

Sabe-se que as tilápias, sendo espécies de clima tropical, sofrem severas reduções metabólicas quando expostas a temperaturas persistentemente baixas. Esse estresse fisiológico prejudica a ingestão alimentar, retarda o crescimento e aumenta consideravelmente a suscetibilidade a patologias e os índices de mortalidade (Sun et al., 1992; Ma et al., 2015; Nobrega et al., 2019; Nobrega et al., 2020). O protocolo de redução controlada (1 °C por dia) adotado neste trabalho demonstrou ser uma ferramenta eficiente para simular tais condições estressantes e segregar o plantel de acordo com sua resistência.

A expressiva variabilidade genética na tolerância ao estresse térmico observada neste estudo corrobora os achados de Charo-Karisa et al. (2005), que avaliaram a herdabilidade da tolerância ao frio em juvenis de tilápia do Nilo. Os autores também constataram que a sobrevivência a baixas temperaturas possui uma forte base genética, viabilizando a seleção de linhagens mais resistentes. De maneira semelhante, Yoshida e Yáñez (2021), ao aplicarem a modelagem não paramétrica de sobrevivência para avaliar o estresse

térmico em *Oreochromis niloticus*, reportaram ampla divergência de desempenho entre diferentes famílias. O alinhamento dos resultados obtidos no presente ensaio com a literatura especializada válida a metodologia empregada e reforça que a exploração dessas divergências familiares constitui uma estratégia cientificamente segura para compor programas de melhoramento focados na resiliência climática.

Por fim, os dados demonstram que existe um enorme potencial para a utilização prática das famílias que apresentaram alta probabilidade de sobrevivência. A estruturação de uma população base a partir de cruzamentos superiores, como a linhagem DNC $\times$ ILH, fornece subsídios técnicos fundamentais para o desenvolvimento de programas de melhoramento genético direcionados. A seleção focada nesses fenótipos superiores permitirá a expansão mais segura, produtiva e sustentável da tilapicultura no Sul e em parte do Sudeste do Brasil, mitigando os gargalos econômicos gerados pelas limitações climáticas regionais.

6. CONCLUSÃO

O presente estudo conclui que existe uma expressiva variabilidade genética na tolerância a baixas temperaturas entre as 40 famílias de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) avaliadas. Uma vez que todos os indivíduos foram submetidos a condições ambientais rigorosamente idênticas durante o desafio recebendo a mesma alimentação, mantidos sob a mesma qualidade de água e expostos ao mesmo protocolo de redução térmica, as divergências significativas observadas nas curvas de sobrevivência confirmam de maneira robusta que a resistência ao frio possui um forte determinante genético.

Em estrito atendimento aos objetivos propostos, a metodologia de análise permitiu identificar com precisão as famílias com desempenho superior frente ao estresse térmico. Destacaram-se positivamente as famílias F17, F6, F4 e F15, as quais apresentaram as maiores estimativas de sobrevivência e os maiores tempos de resistência térmica ao longo do experimento. Em contrapartida, registraram-se famílias com extrema vulnerabilidade à redução de temperatura, como a família F1, que apresentou a menor performance do ensaio.

Dessa forma, os resultados obtidos fornecem subsídios diretos e aplicáveis para o setor, comprovando que a identificação e a seleção de famílias específicas de alto desempenho, a exemplo do grupo liderado pela F17, representam uma estratégia segura. O uso dessas famílias superiores contribuirá ativamente para a formação de populações-

base e para o direcionamento de programas de melhoramento genético, visando uma produção mais resiliente frente às limitações climáticas regionais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-GHANY, H. M.; SALEM, M. E.; MAHBOUB, H. D. Improving the cold tolerance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by supplementing the diet with dietary L-carnitine. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 511, p. 734260, 2019.

ATWOOD, H. L.; TOMASSO, J. R.; WEBB, K.; GATLIN, D. M. Low-temperature tolerance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*: effects of environmental and dietary factors. **Aquaculture Research**, Oxford, v. 34, n. 3, p. 241-251, 2003.

CHARO-KARISA, H. et al. Heritability of cold tolerance in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, juveniles. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 249, n. 1-4, p. 115-123, 2005.

CNAANI, A.; GALL, G. A. E.; HULATA, G. Cold tolerance of tilapia species and hybrids. **Aquaculture International**, Cham, v. 8, n. 4, p. 289-298, 2000.

DAN, N. C.; LITTLE, D. C. The culture performance of monosex and mixed-sex new-season and overwintered fry in three strains of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in northern Vietnam. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 184, n. 3-4, p. 221-231, 2000.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2024**: Towards Blue Transformation. Roma: FAO, 2024.

KAPLAN, E. L.; MEIER, P. Nonparametric estimation from incomplete observations. **Journal of the American Statistical Association**, Alexandria, v. 53, n. 282, p. 457-481, 1958.

KUBITZA, F. Tilápia: a rainha das águas no Brasil. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 125, p. 14-23, 2011.

MA, J. et al. Changes in the physiological parameters, fatty acid metabolism, and SCD activity and expression in juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared at three different temperatures. **Fish Physiology and Biochemistry**, Dordrecht, v. 41, n. 4, p. 937-950, 2015.

NÓBREGA, R. O. et al. Dietary supplementation of *Aurantiochytrium* sp. meal, a docosahexaenoic acid source, promotes growth of Nile tilapia at a cold suboptimal temperature. **Aquaculture Nutrition**, Oxford, v. 25, n. 6, p. 1388-1399, 2019.

NÓBREGA, R. O.; BANZE, J. F.; BATISTA, R. O.; FRACALLOSSI, D. M. Improving winter production of Nile tilapia: What can be done? **Aquaculture Reports**, Amsterdam, v. 18, p. 100453, 2020.

NÓBREGA, R. O. et al. Oxidative damage in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, is mainly induced by water temperature variation rather than *Aurantiochytrium* sp. meal. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 546, p. 737333, 2022.

PEIXE BR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. **Anuário Peixe BR da Piscicultura 2026**. São Paulo: Peixe BR, 2026.

PIMOLRAT, P. et al. Survey of climate-related risks to tilapia pond farms in northern Thailand. **International Journal of Geosciences**, Irvine, v. 4, n. 1, p. 54-59, 2013.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024.

ROCHA, O. et al. A expansão da aquicultura no Brasil e a importância de um marco regulatório. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 39, n. 4, p. 441-456, 2013.

SHI, Y. H. et al. The physiological and morphological responses of GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*) under different temperature stress. **Journal of Aquaculture Research & Development**, Los Angeles, v. 6, n. 3, p. 1-6, 2015.

SUN, L. T.; CHEN, G. R.; CHANG, C. F. The physiological responses of tilapia exposed to low temperatures. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v. 17, n. 3, p. 149-153, 1992.

VALENTIN, J. L. et al. A tilapicultura brasileira em números: um panorama da produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 50, e20200150, 2021.

YOSHIDA, G. M.; YÁÑEZ, J. M. Genomic prediction for resistance to cold stress in Nile tilapia. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 539, p. 736633, 2021.