

Compostagem como fonte térmica de energia para aquecimento de água na aquicultura

César Ademar Hermes^{1*}, Samuel Nelson Melegari de Souza², Aldi Feiden³, Juliano de Souza², Jandir Bard⁴, Luciano Scheffer⁴ e Luiz Engelmann⁴

¹Programa de Pós-graduação em Aquicultura, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

²Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade do Oeste do Paraná (Unioeste), Cascavel, Paraná, Brasil.

³Departamento de Engenharia de Pesca, Universidade do Oeste do Paraná (Unioeste), Toledo, Paraná, Brasil. ⁴Curso de Graduação em Engenharia de Pesca, Universidade do Oeste do Paraná (Unioeste), Toledo, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: cahermes@ibestvip.com.br

RESUMO. O objetivo deste trabalho foi utilizar a compostagem como fonte térmica de energia na manutenção de organismos aquáticos. A região de Toledo possui temperatura média anual do ar de 20,5°C e média no trimestre quente de 27°C e no frio de 16,5°C. O material experimental utilizado consistiu de caixas de água, tubos de alumínio, feno de gramíneas, esterco de aves e suínos, compressores de aquário, mangueiras e tubos, pedras porosas, alevinos de tilápia e termômetro. Foram monitoradas as temperaturas do ar, do composto, da água com e sem aquecimento pelo composto. As temperaturas médias foram de 20,9°C e 31,1°C, para o ar e o composto, respectivamente. A diferença de peso entre os alevinos foi de 24,0%. Concluiu-se que a compostagem pode ser uma fonte de energia térmica na aquicultura.

Palavras-chave: temperatura, crescimento, reprodução.

ABSTRACT. Composting as thermal source of energy for heating the water in the aquaculture. The objective of this work is to use the composting as thermal energy source in the maintenance of aquatic organisms. The area of Toledo possesses annual medium temperature of the air of 20.5°C and average in the hottest quarter of 27°C and in the more cold of 16.5°C. The experimental material consisted of boxes of water, pipes of aluminum, hay of grassy, manure of birds and swine, aquarium compressors, hoses and pipes, porous stones, fish lingers, and thermometer. The temperatures of the air, the composition, and the water without heating were monitored. The medium temperatures obtained were 20.9°C and 31.1°C for the air and the composition, respectively. The temperature averages of the water with heating and without heating were 22.0°C and 20.0°C. The weight difference among the fish lingers was 24.0%. The conclusion is that the composting can be a thermal source of energy in the aquaculture.

Key words: temperature, growth, reproduction.

Introdução

A região sul do Brasil responde por uma parte razoável da produção aquícola brasileira, gerando incremento na renda de muitas famílias, geralmente estabelecida em pequenas propriedades. É uma atividade que, tanto do ponto de vista econômico, como social, ajuda a fixar o homem no campo, evitando o êxodo rural. Segundo dados da Emater-PR, existem, no Paraná, 22.930 piscicultores, que produziram na safra 2003-2004 em torno de 16.597 toneladas (Ostrensky, 2004)

No entanto, muitos desafios ainda rondam a aquicultura paranaense, entre eles as intempéries do

clima. Há alguns anos, devido a um rigoroso inverno, nos estados do Paraná e Santa Catarina houve uma quebra de sua safra, em função da mortalidade ocorrida devido à queda muito brusca da temperatura. O clima na região sul do Brasil, caracteriza-se por períodos de verão e inverno definido, com temperaturas altas no verão e baixas no inverno e com chuvas bem distribuídas.

Uma das soluções alternativas para o aquecimento da água destinada a piscicultura seria a utilização do calor liberado no processo de compostagem de resíduos agrícolas. O presente trabalho teve por objetivo verificar a possibilidade de

utilizar o processo de compostagem como fonte de geração de calor, para aquecimento de pequenos módulos de água utilizados na aqüicultura, principalmente na manutenção de reprodutores, larvicultura e alevinagem inicial de organismos aquáticos susceptíveis ao stresse ambiental em função das baixas temperaturas da água durante os meses de inverno, nos Estados do Sul do Brasil.

O produto da compostagem pode ser utilizado, também, como fertilizante em viveiros de cultivo de animais aquáticos. Utilizando compostos orgânicos oriundos de sete diferentes materiais compostados, Sediya *et al.* (2000) avaliaram a concentração de nutrientes e obtiveram concentrações disponíveis de N entre 3,4 e 4,4 g kg⁻¹. Portanto, esse material é uma alternativa, após a estabilização do processo de compostagem e a temperatura ter atingido níveis muito baixos para aquecer a água, para ser utilizado como fonte de nutrientes em sistemas de cultivo, nos quais se faz necessária a fertilização da água.

O presente trabalho teve por objetivo verificar a possibilidade de utilizar o processo de compostagem como fonte de geração de calor de baixo custo, para aquecimento de pequenos módulos de água utilizados na aqüicultura, principalmente na manutenção de reprodutores, larvicultura e alevinagem inicial de organismos aquáticos susceptíveis a *stresse* ambiental em função das baixas temperaturas da água durante os meses de inverno, nos estados do sul do Brasil.

Especificamente, pretende-se avaliar se existe incremento de temperatura em um corpo de água, sob efeito da temperatura ambiente e aquecido por parte do calor gerado durante a compostagem de um pequeno módulo de composto e observar se há diferença significativa em relação ao comportamento de outro corpo de água sob efeito unicamente da temperatura ambiente, além de verificar o reflexo deste incremento de calor sobre o crescimento de alevinos de tilápia *Oreochromis niloticus* L.

Referencial Teórico

A compostagem pode ser considerada como um dos processos biotecnológicos mais antigos da humanidade e consiste na transformação de materiais grosseiros, como palha e esterco animais, em materiais orgânicos utilizáveis na agricultura. Ele envolve transformações extremamente complexas de natureza bioquímica, promovida por microorganismos do solo que têm na matéria orgânica *in natura* sua fonte de energia e nutrientes. Dessa forma, é possível afirmar que o composto é o resultado da degradação biológica da matéria orgânica, em presença de oxigênio do ar, sob

condições controladas pelo homem. Os produtos do processo de decomposição são: gás carbônico, calor, água e a matéria orgânica "compostada". A principal característica de que está ocorrendo um processo de compostagem em um resíduo orgânico, é a elevação de temperatura do meio, atingindo temperaturas de aproximadamente 65° a 70°C no interior do composto (Gottschall, 1990; Kiehl, 1998, Van Ginkel *et al.*, 2001; Miyashita *et al.*, 2001).

Os resíduos orgânicos, utilizados para o processo de compostagem, são geralmente utilizados como fertilizantes orgânicos. No entanto, os resíduos orgânicos são na verdade excelentes fontes de matéria prima para produção de fertilizantes orgânicos humificados (Kiehl, 1998).

Durante o processo de compostagem, ocorre o processo de cura ou maturação, que pode ser classificado em três fases. A primeira fase é conhecida como fitotóxica, caracterizada pelo desprendimento de calor, vapor de água e gás carbônico, porque nesta fase desenvolvem-se diversos ácidos minerais, que possuem efeito danoso sobre as plantas, principalmente no concernente à germinação das sementes e crescimento das raízes. Nessa fase, a temperatura fica em torno de 25 a 40°C. A segunda fase é conhecida como de semicura; após 10 a 20 dias o material entra no estado de bioestabilização, no qual o composto atinge temperaturas de 50 a 55°C, mais elevadas, portanto, que na fase anterior. Na terceira fase ou fase de maturação, ocorre a degradação da matéria orgânica, quando o composto adquire as propriedades físico químicas e biológicas de húmus, as principais alterações que ocorrem no composto durante o processo de compostagem referem-se à temperatura, umidade, pH e relação carbono/nitrogênio (C/N) (Kiehl, 1998)

A evolução da temperatura durante a compostagem está relacionada a vários fatores responsáveis pela geração de calor, como a quantidade de microorganismos presentes, umidade, aeração, granulometria dos materiais, entre outros fatores. É possível afirmar que a temperatura é uma conseqüência desses fatores. Sob condições favoráveis, ela vai se elevar ao longo dos dias e entrar na fase mesófila, quando atingirá, rapidamente, temperaturas características da fase termófila, mantendo-se constante por um período variável. Em seguida, se as condições favoráveis forem mantidas, a temperatura vai baixar e o composto entra novamente na fase mesófila, mantendo-se nessa fase até o final da compostagem (Kiehl, 1998; HU *et al.*, 1998; Miyashita *et al.*, 2001).

Os processos biofísicos e bioquímicos que

condicionam o metabolismo dos seres vivos e, portanto, os seus desenvolvimentos, são altamente afetados pelas condições energéticas do ambiente, mais especificamente pelo solo e pela atmosfera, podendo-se, inclusive, afirmar que praticamente todos os processos que condicionam o desenvolvimento e crescimento de plantas e animais possuem a temperatura como um dos fatores fundamentais. Cada espécie, animal ou vegetal, possui uma faixa ótima para que o seu potencial produtivo seja expresso; acima ou abaixo deste limite, mesmo havendo um suprimento adequado de água e nutriente, a produtividade será comprometida (Odum, 1983).

Sabe-se que a temperatura é um dos fatores que mais influenciam o desenvolvimento gonadal (gametogênese) e a maturação final (ovulação/espermeação) de peixes teleósteos, podendo retardar, adiantar e até mesmo suprimir tais processos fisiológicos (Lam, 1983).

Os organismos aquáticos se encontram em conforto fisiológico, quando nenhum dos parâmetros ambientais atenta contra a sua fisiologia, ou seja, valores adequados de temperatura, oxigênio dissolvido, nutrientes, entre outros. Porém, à medida que os parâmetros ambientais conferem algum tipo de *stress* aos organismos, estes interrompem a alimentação e, conseqüentemente, o crescimento e possuem maior propensão a contrair doenças (Arana, 1999; Kubitz, 2000).

As principais espécies cultivadas que sofrem os efeitos do clima são a tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*), carpa comum (*Cyprinus carpio*), camarão de água doce (*Macrobrachium rosenbergii*), peixes ornamentais.

As tilápias nilóticas são peixes tropicais, oriundos dos rios e lagos da África, Israel e Jordânia e devido a seu potencial para a aquicultura tiveram a sua distribuição mundial expandida nos últimos cinquenta anos. Para esses animais, o apetite fica extremamente reduzido e aumentam os riscos de doenças em temperaturas abaixo de 20°C. É comum no inverno no sudeste e sul do Brasil, a temperatura da água atingir 18°C. Sob essas condições, os peixes ficam menos tolerantes ao estresse do manejo e transporte e mais susceptíveis as doenças. Assim, o manuseio e transporte desses peixes nos meses de inverno e início da primavera (mesmo se as temperaturas já ultrapassaram 22°C), invariavelmente resultam em grande mortalidade devido a infecções bacterianas e fúngicas. As temperaturas na faixa de 8 a 14°C geralmente são letais, dependendo da espécie, linhagem e condição dos peixes e do ambiente. Com a temperatura abaixo

de 22°C geralmente a reprodução não é observada. Isso acontece pois, sob baixas temperaturas, a espermatogênese (síntese de espermatozoides) é desacelerada e a vitelogênese (produção do vitelo, material que nutre o embrião e a larva) é completamente inibida (Kubitz, 2000; Beux *et al.*, 2001).

A utilização da compostagem como fonte térmica é comum em alguns países europeus. Na Áustria, Graefe (1982), citado por Gottschall (1990), utilizou medas de composto de restos de videiras, com 1 m³ de composto, para aquecer água, mantendo a temperatura da água acima de 40°C por aproximadamente quatro semanas. No sul da França, utilizam-se restos de varredura e folhas em compostagem, em medas com aproximadamente 25 toneladas, para aquecer 4 L de água por minuto, elevando a sua temperatura de 10°C para 60°C durante 6 meses.

Segundo Schulz (1982), citado por Gottschall (1990), teoricamente, é possível aproveitar no máximo em torno de 50% da energia produzida e a utilização de maiores percentuais da energia térmica produzida implicaria na não aeração do composto, pois o ar do interior do composto não aqueceria o suficiente e o processo de convecção não mais aconteceria, impedindo a troca de ar e o gás carbônico se acumularia no interior da meda, eliminando os microorganismos aeróbicos responsáveis pela decomposição e liberação da energia térmica, interrompendo o processo de compostagem.

Material e métodos

O presente trabalho foi desenvolvido na região de Toledo, no Oeste do Estado do Paraná, possui localização hipsométrica de +500 a +600 m, temperatura média anual do ar de 20°C a 21°C e média no trimestre mais quente de 26 a 28°C, e no trimestre mais frio 16 a 17°C, possuindo classificação climática de Cfa (Clima subtropical, sempre úmido com verões quentes), pelo método Köppen (Iapar, 2000). Duas etapas foram desenvolvidas. A primeira etapa, ocorreu no período de 1º de setembro a 21 de outubro de 2003, na Uniãoeste/Toledo e a segunda etapa, no Colégio Agrícola Estadual de Toledo, Estado do Paraná, no período de 23 de setembro a 22 de outubro de 2004.

O material experimental da primeira etapa consistiu em seis caixas de água, de 310 L de capacidade, tubos de alumínio (1,5 m de comprimento, diâmetro interno de 0,5 mm), feno de gramíneas, esterco de galinhas de postura, três compressores de aquário, mangueiras plásticas de 4

mm de diâmetro, tubos de P.V.C. de 25 mm de diâmetro, pedras porosas (utilizadas em aquários para peixes) e um termômetro de mercúrio com escala de 0 a 100°C. As medas de composto tinham 1,70 x 0,8 x 0,9 m de comprimento, largura e altura, respectivamente.

Na segunda etapa, foram utilizadas duas caixas de água, de 310 L de capacidade, tubos de alumínio, cama de criação de suínos (constituída de uma mistura de raspa de madeira e esterco suíno, semi-curtido), esterco de bovinos, um compressor de aquário, mangueiras plásticas de 4 mm de diâmetro, tubos de P.V.C. de 25 mm de diâmetro, pedras porosas (utilizadas em aquários para peixes), gaiolas confeccionadas em tala plástica de malha 0,5 mm e com 0,9 m de altura e 0,3 m de diâmetro, 64 alevinos de tilápia *Oreochromis niloticus* revertidos sexualmente, ração comercial para peixes com 32% de proteína, balança digital com precisão de 0,001 gramas, um termômetro de mercúrio com escala de 0°C a 100°C. As medas de composto tinham as mesmas dimensões da primeira etapa.

Primeira etapa

O experimento consistiu de um fator (temperatura), com dois níveis (efeito do composto e efeito do ambiente) e três repetições para cada nível. A variável reposta foi a temperatura da água.

O experimento possuía seis caixas de água de 310 L, sendo que a temperatura de água de três caixas estava sob influência da temperatura ambiente e a água das outras três caixas estava sob influência do calor gerado pelo processo de compostagem. A temperatura da água das seis caixas era monitorada diariamente, além da temperatura ambiente, da temperatura interna da compostagem (próximo aos tubos de alumínio), da temperatura da água na entrada e na saída dos tubos de alumínio.

Os materiais orgânicos (feno e esterco de aves) foram arranjados em camadas sucessivas, iniciando com uma camada de feno, de aproximadamente 20 cm de altura, em seguida uma camada de esterco de aves, de aproximadamente 10 cm de altura. Essas camadas foram arranjadas, até atingirem uma altura de aproximadamente 0,9 m (altura da caixa de água). O material foi umedecido após a disposição de cada camada. Foram gastos aproximadamente 30 L de água, 30 kg de esterco de aves e 25 kg de feno (2,5 fardos de feno) por meda.

As medas foram mantidas úmidas durante todo experimento, para garantir a umidade mínima à atividade microbiana. Como as medas possuíam dimensões razoavelmente pequenas, nos dias de chuvas pesadas, elas eram cobertas com plástico para evitar o encharcamento dos compostos e

conseqüente diminuição da atividade bacteriana.

Nas caixas que estavam ligadas ao composto, em sua parte interna, foram instalados dispositivos que visavam forçar o fluxo de água pelos tubos de alumínio. Esses dispositivos consistiam de um recipiente plástico, de 2 L, acoplada a um tubo de P.V.C. de 25 milímetros em uma das extremidades e outro tubo de 25 milímetros colocado do lado externo, por dentro do qual passava uma mangueira de plástico de 4,0 mm (mangueira para compressor de aquário). Em uma das extremidades dessa mangueira estava acoplado um compressor de aquário e na outra extremidade havia uma pedra porosa, dentro do tubo de P.V.C.

Esse dispositivo foi instalado de tal forma, que parte do recipiente plástico estava 8 a 10 cm acima do nível da água da caixa, ficando o restante mergulhado na água. Quando o compressor de aquário era acionado, injetava ar no interior do tubo externo, formando um fluxo ascendente de bolhas de ar, que arrastavam a água até a outra extremidade do tubo. O deslocamento de água provocado pelas bolhas era suficientemente forte para elevar a água por dentro do tubo externo a aproximadamente 8 a 10 cm acima do nível de água da caixa, descarregando a água dentro do recipiente plástico. Dessa forma, o nível dentro do recipiente plástico permanecia acima do nível da água da caixa, forçando a circulação da água por dentro dos tubos de alumínio e retornando a caixa.

O sistema para a captação do calor gerado pela compostagem consistiu em tubos de alumínio, de 1,5 m de comprimento e 5,0 mm de diâmetro interno, com paredes de 0,05 mm de espessura, que estavam acomodados no meio do material a ser compostado. Em cada meda, havia dois grupos de tubos, com quatro tubos de alumínio em cada. Em uma das extremidades esses tubos estavam ligados a um tubo de P.V.C. de 25 mm de diâmetro, que por sua vez estava acoplado a uma caixa de água de 310 L de capacidade.

Uma vez que os tubos de alumínio não são flexíveis, eles eram ligados nas suas extremidades, às mangueiras do tipo cristal, de 3 mm de diâmetro, que faziam a conexão com os tubos de P.V.C. e entre os tubos de alumínio.

As temperaturas do composto, do ar, da água da caixa sob efeito da temperatura ambiente, da água da caixa sob efeito da temperatura da compostagem e da água ao entrar no composto e logo após sair do composto foram medidas uma vez ao dia, entre 12h e 13h. A cada 8 a 10 dias, o composto era revolvido, para permitir uma boa oxigenação do material a ser compostado, umedecido e acrescentado uma nova porção de feno e esterco de aves.

Segunda etapa

Nessa etapa, o esquema experimental foi organizado da forma semelhante à primeira etapa, utilizando os mesmos dispositivos para movimentar a água por entre os tubos de alumínio.

Para montar a meda de composto, em torno de 45 kg de cama de criação de suínos e 28 kg esterco de bovinos fresco foram misturados e, após acomodar uma parte desse material no local do composto, o primeiro grupo de tubos de alumínio, acoplado a região inferior da caixa de água, foi disposto por cima dessa camada e em seguida acrescentada mais uma camada de material previamente misturado e disposto o segundo grupo de tubos de alumínio, acoplado a região superior da caixa de água e, finalmente, mais uma camada de material a ser compostado, para não deixar os tubos de alumínio expostos às intempéries. Os tubos de alumínio foram conectados a uma das caixas de água, da mesma forma que na primeira etapa. A outra caixa de água não possuía nenhuma conexão com o composto.

Foram acomodadas quatro gaiolas de tela plástica em cada caixa de água, e em cada gaiola, oito alevinos de tilápia, com peso médio de $0,8 \pm 0,16$ g, alimentadas *ad libitum* com ração comercial duas vezes ao dia (às 09h40min e às 15h30min). Os alevinos eram pesados a cada sete dias em balança digital, com precisão de 0,001 g.

Análise dos dados

A análise dos dados obtidos na experimentação consistiu em avaliar a diferença estatística entre as temperaturas obtidas e o desempenho dos alevinos de tilápia, através da análise de variância Anova (Banzato e Kronka, 1992) e para verificar o crescimento de uma variável em função a outra variável, foi utilizado o coeficiente de correlação conforme Vieira e Hoffmann (1986).

Resultados e discussão

A coleta dos dados somente teve início após o terceiro dia, quando a temperatura do composto atingiu 35°C.

A temperatura do ar manteve médias de 20,5°C e 21,3°C durante os meses de setembro e outubro/2003, respectivamente. Essas médias estão de acordo com previsões do Iapar (2000), para a região de Toledo, Estado do Paraná. No período de 04 a 09 de setembro/2004, houve um contínuo declínio na temperatura do ar, atingindo uma temperatura de 10°C. Como as medas de composto possuíam um volume muito pequeno (aproximadamente 1,2 m³), o declínio da temperatura do ar induziu uma diminuição drástica

das temperaturas neste período, das três medas de composto. Em medas de composto de maior volume, provavelmente, este declínio na temperatura seria menor. Observou-se temperaturas médias gerais de 20,8°C, 31,0°C, 31,9°C e 31,4°C para o ar e as medas 01, 02 e 03, respectivamente, durante todo período experimental (Figura 1; Tabela 1).

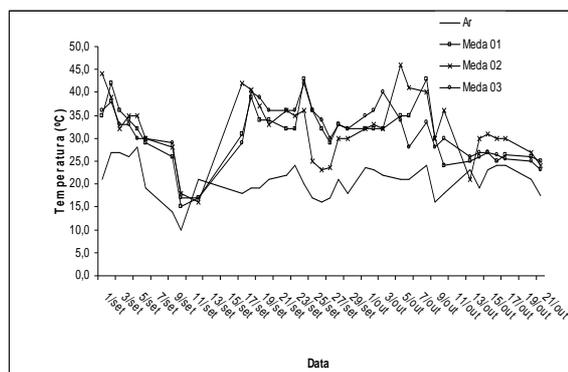


Figura 1. Temperaturas do ar e das três medas de composto durante o período experimental.

Tabela 1. Média, desvio padrão e coeficiente de variação das temperaturas das três medas de compostos monitorados

Grupo	Média(°C)	Desvio padrão	Coeficiente de variação
Ar	20,8	3,81	18,4%
Meda 01	31,0	6,19	19,9%
Meda 02	31,9	7,00	21,9%
Meda 03	31,4	5,91	18,8%

Pela Anova, não houve variação significativa entre as temperaturas das medas dos três compostos ($P\text{-value} > 0,05$). Entre a temperatura do ar e a média de temperatura das medas dos três compostos houve diferença significativa ($P\text{-value} < 0,05$) e considerando que o coeficiente de correlação entre as duas médias foi igual a 0,393, pode-se concluir que houve pouca influência da temperatura do ar sobre a média de temperatura das medas dos compostos.

As temperaturas médias obtidas nas três medas de composto foram bem menores do que o esperado. Kiehl (1998) considera como faixa ótima de temperatura a que vai de 45 a 65°C. Os menores valores obtidos podem ser em função do pequeno volume do composto, uma vez que com um menor volume há maior perda de calor para o ambiente.

Outro aspecto a ser observado é que parte do calor gerado estava sendo absorvido pelos tubos de alumínio para aquecer a água. Esse aspecto é abordado por Schulz (1982), citado por Goottschall (1990), considerando que a retirada de energia térmica do sistema, implica em uma menor aeração, pois diminui a troca de ar por convecção.

Nas caixas de água com aquecimento, obtiveram-se médias de temperatura ao longo do experimento de 22,0°C para a caixa 01, caixa 02 e caixa 03 (Tabela 2).

Tabela 2. Média, desvio padrão e coeficiente de variação das temperaturas de água das três caixas de água com aquecimento pela compostagem e da água sem aquecimento.

Grupo	Média (°C)	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
Caixa01	22,0	3,76	17,1%
Caixa02	22,0	3,87	17,6%
Caixa03	22,0	3,72	16,9%
Água sem aquecimento	20,2	2,98	14,8%

Não houve diferença significativa na média entre as três caixas de água com aquecimento (P-value > 0,05; Figura 2).

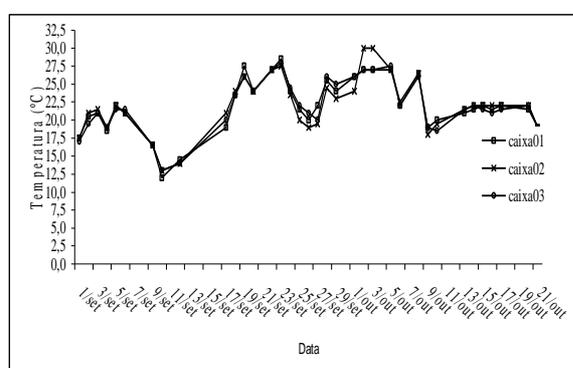


Figura 2. Temperaturas da água das caixas com aquecimento, monitoradas ao longo do experimento.

Os coeficientes de correlação entre a caixa 01 e a meda 01, a caixa 02 e a meda 02 e a caixa 03 e a meda 03, foram de 0,560, 0,506 e 0,666, respectivamente. Não podem ser considerados valores muito expressivos de correlação, mas, levando em consideração o pequeno volume das medas de composto e os resultados obtidos sobre o crescimento dos alevinos de tilápia, podem ser considerados aplicáveis.

Nas três caixas de água sem aquecimento, ou seja, sob efeito direto da temperatura atmosférica, as temperaturas de água obtidas foram praticamente iguais ao longo de todo o período de monitoramento, com variações de uma caixa para outra de menos de 0,5°C (Figura 3).

O coeficiente de correlação existente entre a temperatura do ar e as caixas sob efeito da temperatura ambiente foi de 0,480, menor que o coeficiente de correlação existente entre as caixas de água com aquecimento e seus respectivos compostos; ou seja, a compostagem foi mais significativa na determinação da temperatura da água

do que a temperatura ambiente. Não houve diferença significativa entre as três caixas de água sem aquecimento e a temperatura ambiente (P-value > 0,050).

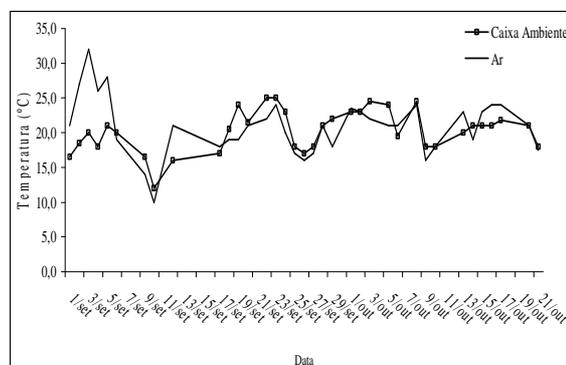


Figura 3. Temperatura das caixas de água sem aquecimento e a temperatura do ar, monitorada ao longo do experimento.

Nas caixas de água sem aquecimento, as temperaturas variaram menos (coeficiente de variação de 14,98%) que a temperatura da água com aquecimento (coeficiente de variação médio de 17,2%); como o composto, após aquecer a água das caixas, em função do pequeno volume, não conseguiu manter a temperatura da água aquecida, em alguns períodos de temperaturas mais frias, a amplitude foi maior para a água aquecida do que para a água sem aquecimento (Tabela 3), refletindo os respectivos valores do coeficiente de variação.

Tabela 3. Temperaturas máximas e mínimas do ar, da caixa ambiente e das caixas 1 a 3, em graus celsius, e seus respectivos coeficientes de variação e amplitude.

	Ar	Caixa Ambiente	Caixa 01	Caixa 02	Caixa 03
Máximo	32,0	25,0	28,5	30,0	28,0
Mínimo	10,0	12,0	12,0	13,0	13,0
Amplitude	22,0	13,0	16,5	17,0	15,0
Coef. De variação	19,8%	14,8%	17,1%	17,6%	16,9%

A média de temperatura da água após passar pelos tubos de alumínio foi de 23,3°C, 23,5°C e 23,7°C, para as saídas da meda 01, meda 02 e meda 03 (Tabela 4). Não houve diferença significativa entre as três saídas de água (P-value > 0,05).

Tabela 4. Média, desvio padrão e coeficiente de variação das temperaturas da água após atravessar a compostagem pelos tubos de alumínio.

Grupo	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
Saída 01	23,3	3,748	16,1%
Saída 02	23,5	3,823	16,3%
Saída 03	23,7	4,043	17,1%

Entre a temperatura da água no instante de saída

da compostagem e a temperatura das caixas de água com aquecimento houve uma diferença média de 1,5°C (Figura 4). Essa diferença se manteve praticamente constante ao longo de todo o experimento.

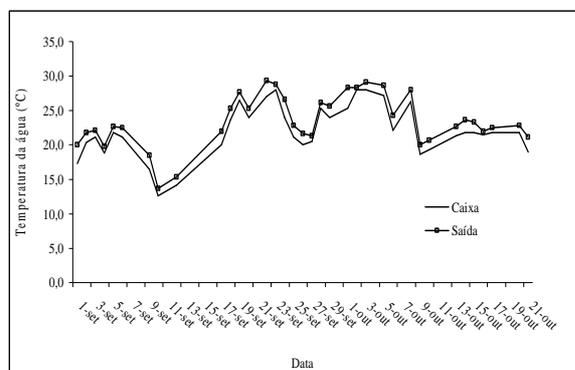


Figura 4. Temperatura média das caixas de água com aquecimento e a temperatura da água após atravessar o composto.

Considerando a relação entre a temperatura da água e a temperatura do composto, e aplicando a equação de correlação, obtém-se um coeficiente de 0,69, demonstrando haver uma correlação positiva (Figura 5), próxima de +1, indicando um alto grau de correlação entre os valores médios de temperatura obtidos da água no momento em que sai do sistema de tubos e a temperatura média do composto. É possível afirmar, portanto, que a temperatura do composto provocou um aumento na temperatura da água que passava pelos tubos, e um aumento na temperatura do composto será acompanhado por um aumento proporcional na temperatura da água que sai dos tubos de alumínio.

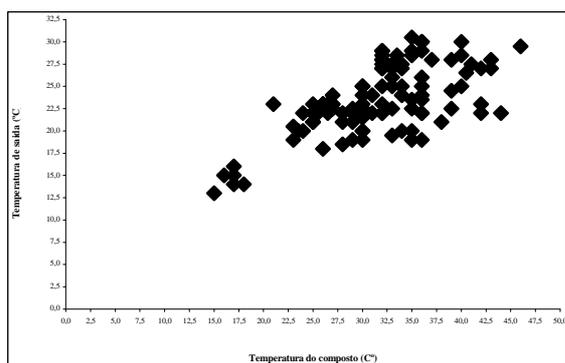


Figura 5. Diagrama de dispersão dos valores de temperatura da água após atravessar o composto e a temperatura do composto.

A temperatura do composto oscilou entre 30 e 34°C, com média de $31,2 \pm 1,85^\circ\text{C}$, durante o período de monitoramento nictimiral,

apresentando o menor coeficiente de variação em relação aos outros parâmetros analisados. Durante a noite e nas primeiras horas da manhã, a temperatura do composto manteve-se em 30°C, aumentando gradativamente ao longo do dia e atingindo o máximo de 34°C, diminuindo a temperatura a partir das 16h30min.

Essa variação de temperatura do composto deve-se ao fenômeno conhecido como inércia térmica. A inércia térmica mantém a temperatura no interior de um determinado material bastante estável em relação às variações da temperatura externa, ou seja, durante o aquecimento o calor vai sendo transferido para o interior do material, causando um aumento progressivo da temperatura no interior do mesmo, em um processo de transferência de calor lento. Frequentemente esse processo inverte o seu sentido após a diminuição da temperatura externa e inicia-se um processo de transferência de calor no sentido inverso, com o calor fluindo do interior do corpo para o exterior. Nesse momento, o tamanho do corpo é de grande importância no processo de perda de calor; quanto maior o corpo, mais lenta é a perda de calor (Costa, 1982).

Devido à incidência da radiação solar, a superfície do composto sofreu um processo de aquecimento; considerando que o fluxo de calor acontece na direção do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura, o calor existente na superfície do composto foi progressivamente sendo conduzido ao interior do mesmo. Nesse momento, observou-se uma influência significativa da radiação solar sobre a temperatura do composto (Figura 6).

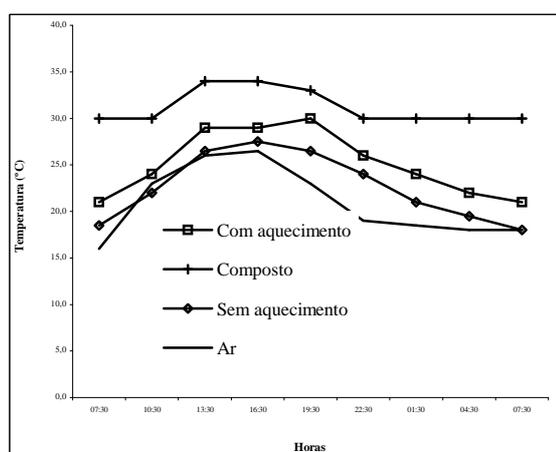


Figura 6. Evolução da temperatura do composto durante um período de 24 horas.

A partir das 16h30min, a temperatura do

composto começa a diminuir, pois a incidência solar é bem menor e inicia-se um fluxo de calor do interior para o exterior, uma vez que a parte externa está mais fria que a parte interna.

A água da caixa com aquecimento pela compostagem manteve uma temperatura média de $25,1 \pm 3,55^\circ\text{C}$, com mínima de $21,0^\circ\text{C}$ e máxima de $30,0^\circ\text{C}$, enquanto que a água da caixa sem aquecimento pela compostagem manteve uma média de $22,6 \pm 3,66^\circ\text{C}$, com mínima de $18,0^\circ\text{C}$ e máxima de $27,5^\circ\text{C}$ (Tabela 5).

Considerando os parâmetros ideais para cultivo e reprodução da maioria das espécies de animais aquáticos cultiváveis, a situação de temperatura da caixa com aquecimento da água pelo composto é mais interessante, pois está mais próxima da zona de conforto desses animais (Tamassia, 1996; Valenti, 1998; Arana, 1999; Kubitz, 2000)

Tabela 5. Temperaturas máximas e mínimas da água com aquecimento, do composto, da água sem aquecimento e do ar, e suas respectivas médias, desvios padrão e coeficientes de variação.

	Água com aquecimento	Composto	Água sem aquecimento	Ar
Mínimo ($^\circ\text{C}$)	21,0	30,0	18,0	16,0
Máximo ($^\circ\text{C}$)	30,0	34,0	27,5	26,5
Média ($^\circ\text{C}$)	25,1	31,2	22,6	20,9
Desvio Pd	3,55	1,86	3,66	3,81
CV (%)	14,1	5,9	16,2	18,3

O peso inicial médio dos alevinos foi de $0,85 \pm 0,14$ gramas para o sistema com aquecimento e $0,82 \pm 0,18$ gramas para o sistema sem aquecimento (Tabela 6). Não houve diferença significativa de peso inicial entre os lotes de alevinos ($P\text{-value} > 0,05$).

Tabela 6. Peso médio, desvio padrão e coeficiente de variação inicial dos alevinos povoados nas caixas com e sem aquecimento.

Grupo	Média (g)	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
Com Aquecimento	0,85	0,14	16,5%
Sem Aquecimento	0,82	0,18	21,6%

Houve diferença significativa entre o peso final dos lotes cultivados ($P\text{-value} < 0,05$), ou seja, os alevinos no ambiente aquecido obtiveram um melhor desempenho se comparado aos alevinos do ambiente sem aquecimento. O peso final médio dos indivíduos, no corrente trabalho, foi de $1,46 \pm 0,295$ para o sistema de cultivo com aquecimento pela compostagem e $1,18 \pm 0,256$ para o sistema de cultivo sem aquecimento, influenciados unicamente pela temperatura ambiente, resultando em uma diferença na média do peso entre os alevinos dos dois tratamentos de aproximadamente 24,0% (Figura 7).

Nesse sentido Hamilton et al. (1998), afirmam que a temperatura é um fator muito importante na aqüicultura, pois influencia diretamente nos processos fisiológicos dos organismos aquáticos.

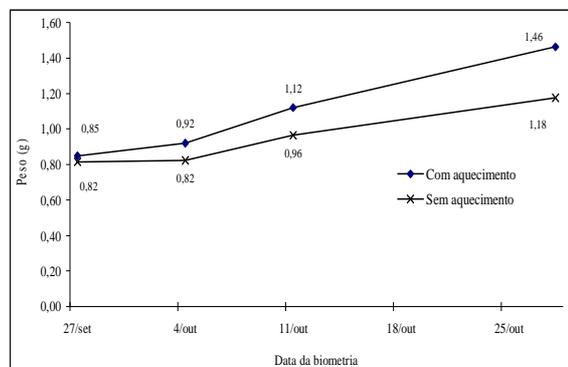


Figura 7. Peso dos alevinos de tilápia no sistema de cultivo com aquecimento utilizando compostagem e sistema de cultivo sem aquecimento.

Conclusão

A temperatura da água sofreu influência da compostagem, permitindo um diferencial de $2,0^\circ\text{C}$. Em função do pequeno volume dos componentes do sistema, houve uma significativa variação de temperatura entre os períodos com e sem incidência de radiação solar.

O incremento em peso dos alevinos de tilápia cultivados neste sistema foi de aproximadamente 24,0%. Desta forma, o sistema com aquecimento de água pela compostagem possui condições mais adequadas ao desenvolvimento dos animais, pois a temperatura da água encontrou-se numa faixa mais apropriada ao seu desenvolvimento se comparada à faixa de temperatura da água sem aquecimento.

A partir da experiência acumulada com a presente pesquisa, propõe-se outros estudos que possam vir a colaborar no dimensionamento deste sistema, dentre eles os relacionados ao tipo de insumo utilizado na montagem do composto, às dimensões das medas e ao volume de água utilizado no sistema.

Referências

- ARANA, L.V. *Aqüicultura e desenvolvimento sustentável: subsídios para a formulação de políticas de desenvolvimento da aqüicultura brasileira*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1999.
- BANZATO, D.A.; KRONKA, S.N. *Experimentação agrícola*. Jaboticabal: Funep, 1992.
- BEUX, L.F. et al. Característica de carcaça da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em diferentes categorias de

- Peso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PESCA. 12., Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu, 2001.
- COSTA, E.C. *Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural*. São Paulo: Ed. Blücher, 1982.
- GOSTTSCHALL, R. *Kompostierung: optimale Aufbereitung und Verwendung organischer Materialien im ökologischen Landbau*. Ralf Gottschall. 4^a Aufl. Karlsruhe: Müller, 1990. 296p.
- HAMILTON, S. *et al.* Cultivo de tilápia vermelha (híbrido de *Oreochromis* spp) em viveiros estuarinos: Estudo de caso. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE AQUICULTURA, 1., Recife, 1998. *Anais...* Recife. 1998. p. 727-735.
- HU, D. *et al.* A pilot ecological engineering project for municipal solid waste reduction, disinfection, regeneration and industrialization in Guanghan City, China. *Ecol. Eng.*, Oxford, v. 11, p. 129-138, 1998.
- IAPAR-INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. *Cartas Climáticas do Paraná*. CD room, Versão 1.0. não paginado. 2000.
- KIEHL, E.J. *Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto*. Piracicaba: E.J. Kiehl. 1998. 180p.
- KUBITZA, F. *Tilápia: Tecnologia e Planejamento na Produção Comercial*. 1., ed. Jundiaí: Fernando Kubitza. 2000.
- LAM, T.J. Environmental influences on gonadal activity in fish. *Fish Physiol.*, Amsterdam, v. IXB, p. 65-116, 1983.
- MIYASHITA, C.M. *et al.* Compostagem e sua aplicação. *Boletim Técnico de Hortaliças*, Universidade Federal de Lavras, Lavras, v. 1, n. 66, 2001.
- ODUM, E. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Kogan, 1983.
- OSTRENSKY, A. A dança dos números da Piscicultura Paranaense. *Panorama da Aqüicultura*, Rio de Janeiro, v. 14, n. 84, p. 28-32, 2004.
- SEDIYAMA, M.A.N. *et al.* Nutrientes em compostos orgânicos de resíduos vegetais e dejetos de suínos. *Sci. Agric.*, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 185-189, 2000.
- TAMASSIA, S.T.J. *Carpa comum (Cyprinus carpio): produção de alevinos*. Florianópolis: Epagri, 1996. 75p. (Epagri. Boletim Técnico, 76).
- VALENTI, W.C. *et al.* Larvicultura em sistema fechado dinâmico. *Carcinicultura de água doce: Tecnologia para a produção de camarões/ editado por Wagner Cotroni Valenti – Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis*. 1998.
- VAN GINKEL, J.T. *et al.* Physical properties of composting material: gas permeability, oxygen diffusion coefficient and thermal conductivity. *Biosyst. Eng.*, London, v. 81, n. 1, p.113 – 125, 2001.
- VIEIRA, S.; HOFFMANN, R. *Elementos de Estatística*. São Paulo: Atlas, 1986.

Received on July 05, 2005.

Accepted on December 12, 2005.