

ESTRESSE POR CALOR: ALTERAÇÕES NA FISIOLOGIA REPRODUTIVA E ESTRATÉGIAS PARA AMENIZAR SEUS EFEITOS NEGATIVOS NA FERTILIDADE DE FÊMEAS BOVINAS

Gustavo Guerino Macedo¹
 Eliane Vianna da Costa e Silva²
 Leonardo Franco Martins³
 Rogério Oliveira Pinho⁴
 Bruno Moura Monteiro⁵

MACEDO, G. G.; COSTA e SILVA, E. V. da; MARTINS, L. F.; PINHO, R. O.; MONTEIRO, B. M. Estresse por calor: alterações na fisiologia reprodutiva e estratégias para amenizar seus efeitos negativos na fertilidade de fêmeas bovinas. *Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR*, Umuarama, v. 16, n. 1, p. 79-85, jan./jun. 2013.

RESUMO: O estresse por calor, comum em clima tropical, vem sendo considerado um dos principais fatores de falha reprodutiva de fêmeas bovinas, incluindo danos ao desenvolvimento e maturação oocitária, desenvolvimento embrionário inicial e fetal, lactação e endocrinologia reprodutiva. Para tentar minimizar tais prejuízos, é necessário melhor entendimento da influência térmica sobre os processos reprodutivos a fim de aperfeiçoar o manejo para aumentar a fertilidade. Esta revisão tem como objetivo buscar o melhor entendimento de como e quando o estresse por calor afeta a reprodução de bovinos, no intuito de se desenvolver estratégias visando melhorar a fertilidade em ambientes de elevadas temperatura.

PALAVRAS-CHAVE: Embrião. Estresse térmico. Manejo reprodutivo. Reprodução.

HEAT STRESS: ALTERATIONS ON REPRODUCTIVE PHYSIOLOGY AND STRATEGIES TO MITIGATE THE NEGATIVE EFFECTS ON FERTILITY OF BOVINE FEMALES

ABSTRACT: The heat stress, common in tropical climates, has been considered one of the major factor in reproductive failure in cows, including damages in the oocyte development and maturations, early embryo and fetus development, lactations and reproductive endocrinology. The genetic adaptation to heat stress is possible not only in relation to the body temperature regulation, but also at cellular resistance level. To try to minimize these problems, a better understanding of the thermal influence on the reproductive processes is necessary, with the aim of improving the reproductive management. This review aims to offer a better understanding of how and when the heat stress affects reproductive function of bovines, in order to develop strategies to increase fertility in environments with high thermal loads.

KEYWORDS: Embryo. Heat stress. Reproductive management. Reproduction.

ESTRÉS POR CALOR: CAMBIOS EN LA FISIOLÓGIA REPRODUCTIVA Y ESTRATEGIAS PARA AMENIZAR SUS EFECTOS NEGATIVOS EN LA FERTILIDAD DE HEMBRAS BOVINAS

RESUMEN: El estrés por calor, común en climas tropicales, ha sido considerado uno de los principales factores de fracaso reproductivo en hembras bovinas, incluyendo daños al desarrollo y maduración oocitaria, desarrollo embrionario inicial y fetal, lactancia y endocrinología reproductiva. Para intentar minimizar estos problemas, es necesario entender mejor la influencia térmica en los procesos reproductivos, con el fin de perfeccionar el manejo para aumentar la fertilidad. Esta revisión tiene como objetivo buscar mejor comprensión de cómo y cuándo el estrés por calor afecta la reproducción del ganado, buscando desarrollar estrategias para mejorar la fertilidad en entornos de elevadas temperatura.

PALABRAS CLAVE: Embrión. Estrés térmico. Manejo reproductivo. Reproducción.

Introdução

Os bovinos evoluíram em regiões distintas e em decorrência disto, ao longo do tempo, a seleção natural levou-os a apresentar oncogênese e morfogênese diversas sob muitos aspectos. Isto devido ao fato, que regiões de clima tropical, ambientes com elevadas temperaturas e umidade relativa do ar, são determinantes no desempenho reprodutivo, uma vez que a zona de conforto térmico e as condições edafoclimáti-

cas são diferentes (ROCHA et al., 2012).

Baseado neste contexto, os bovinos zebuínos que foram desenvolvidos em clima tropical, conseguiram adquirir genes (por mutação ou herança) que determinam melhor tolerância ao calor. A habilidade termorregulatória superior destes tornou-os melhor adaptados a climas quentes, diminuindo sua passividade em apresentar hipertermia em resposta ao estresse por calor (EC), quando comparados com raças *Bos taurus*. Sendo assim, a exposição à elevadas tem-

¹Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Federal de Uberlândia, Câmpus Umuarama, Av. Pará, 1720, Uberlândia, MG, CEP 38400-902. E-mail: gmacedo@famev.ufu.br;

²Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS. E-mail: eliane.silva@ufms.br;

³Universidade Paranaense, Umuarama, PR. E-mail: leonardofmpr@yahoo.com.br;

⁴Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. E-mail: rogerio_op@yahoo.com.br;

⁵Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. E-mail: brunomouramonteiro@hotmail.com.

peraturas pode apresentar menores efeitos deletérios no gado zebu do que no europeu, o que pode ser um fator importante para determinar seu melhor desempenho reprodutivo (KRININGER et al., 2003; HANSEN, 2004; 2009).

Independente da origem genética, o EC (chamado EC quando *in vivo*, e choque térmico – CT quando *in vitro*) advindo de altas temperaturas ambientais, umidade relativa e energia radiante, leva à distúrbios endócrinos, prejuízos ao bem-estar, sobrecarga nos mecanismos fisiológicos de perda de calor, dificuldade na manutenção da homeostase e ainda, efeitos negativos sobre eventos reprodutivos na fêmea bovina, como alteração do desenvolvimento folicular (WOLFENSON, et al., 1997), comprometimento da competência do ovócito (ROTH; HANSEN, 2005; GENDELMAN et al., 2010; FERREIRA et al., 2011), diminuição da expressão do comportamento de estro (NEBEL et al. 1997) e retardo ou mesmo inibição do desenvolvimento embrionário seja por efeito indireto via elevação da temperatura da vaca (PUTNEY et al., 1988; EALY; DROST; HANSEN, 1993; WOLFENSON et al., 1995; AL-KATANANI; HANSEN, 2002; BRIDGES; BRUSIE; FORTUNE, 2005; FERREIRA et al., 2011) ou direto via elevação da temperatura em meios de cultivo embrionário *in vitro* (RIVERA; HANSEN, 2001; PAULA-LOPES; HANSEN, 2002; KRININGER et al., 2003; SUGIYAMA et al., 2003; HERNÁNDEZ-CERON; CHASE; HANSEN, 2004; SAKATANI et al., 2013).

Dessa forma, pode-se considerar que as variáveis ambientais têm sido determinantes no comprometimento da eficiência reprodutiva, principalmente para os sistemas reprodutivos como monta natural, inseminação artificial, aspiração de oócitos e transferência de embriões, que envolvem custos e animais de alto valor genético e comercial. Estes programas reprodutivos requerem a associação de diversos eventos fisiológicos como maturação folicular, biossíntese de estradiol, indução da pulsatilidade e onda pré-ovulatória de hormônio luteinizante, ovulação e expressão do comportamento sexual, que devem ocorrer de forma coordenada para ser expressos cada qual no seu momento exato. Portanto, qualquer fator estressante que venha a alterar algum destes eventos pode alterar a função reprodutiva que cada animal desenvolve (MACEDO; ZÚCCARI; COSTA e SILVA, 2012a,b).

Sendo assim, em programas de multiplicação de material genético por meio de transferência de embriões, por exemplo, se submetida ao EC, a vaca doadora pode proporcionar elevada temperatura aos embriões, aumentando a mortalidade embrionária, restringindo, desta forma, a coleta em níveis insatisfatórios. Dessa forma, fica clara, a necessidade de um melhor entendimento da influência térmica na fisiologia reprodutiva com o objetivo de aperfeiçoar o manejo de fêmeas bovinas e elevar a fertilidade. Esta revisão tem como objetivo buscar um melhor entendimento de como e quando o estresse por calor afeta a reprodução dos bovinos, assim como, discutir estratégias visando a aumentar a prolificidade em ambientes de elevadas cargas térmicas como em regiões de clima tropical.

Influência do estresse por calor na fisiologia reprodutiva

A manutenção da temperatura corporal é regida pelo sistema nervoso central mediante ajustes fisiológicos e

comportamentais, exigindo que a produção e a perda de calor pelo organismo sejam equivalentes. Em resposta ao EC, os animais diminuem a taxa metabólica por meio de declínio na concentração plasmática dos hormônios da tireoide e do crescimento, aumentam a sudorese, as frequências respiratória e cardíaca, alteram sua hemodinâmica como vasodilatação periférica, promovem ereção dos pelos, aumentam a ingestão de água, buscam sombra e lugares arejados e diminuem o consumo alimentar (HANSEN, 2004).

O EC influi ainda em vários segmentos do processo reprodutivo, inclusive na depressão da expressão do estro, proporcionando um decréscimo na eficiência reprodutiva (SAKATANI et al., 2012). O estro se deve principalmente por meio de *feedback* positivo do estradiol (E2) no hipotálamo (HAFEZ; HAFEZ, 2004). O folículo dominante, sob o estímulo de gonadotrofinas durante três ou quatro dias anteriores ao ciclo estral sintetiza e secreta elevadas quantidades de E2. Em determinado momento, a concentração de E2 circulante estimula centros comportamentais específicos no hipotálamo bovino, provocando a resposta comportamental de estro (MOENTER; CARATY; KARCH, 1990; ROELOFS et al., 2010).

A reduzida expressão de estros e mortalidade embrionária inicial pode ser reflexo de alteração na função do fluido folicular durante EC, especificamente em relação à dinâmica folicular e à atividade esteroidogênica das células da granulosa (ROCHA et al., 2012). Uma dessincronia nestes eventos funcionais pode ser causada pela alta carga térmica no animal, resultando em redução na ingestão alimentar, o que leva à queda na produção de gonadotrofinas, provocando anestro, estros silenciosos e/ou menos férteis. Esta alteração no balanço hormonal, afeta a fertilização, o desenvolvimento embrionário/fetal e redução na atividade sexual (SHEHAB-EL-DEEN et al., 2010).

Temperaturas elevadas diminuem a duração do estro de 14 a 18 horas durante estações frias, para oito a 10 horas nos períodos quentes. Além disso, as fêmeas europeias e as zebuínas, em menor proporção, tendem a diminuir a manifestação do estro nas horas mais quentes do dia (SARTORI; BARROS, 2011).

No útero, o EC age diretamente na temperatura do lúmen e hemodinâmica do endométrio. Em vacas expostas ao sol durante o verão há um menor fluxo sanguíneo uterino e maior temperatura luminal que em vacas não sujeitas ao EC. Isto afeta o aporte de água, eletrólitos, nutrientes, hormônios e diversos fatores de crescimento ao órgão (GRUNERT; BIRGEL; VALE, 2005; SHEHAB-EL-DEEN et al., 2010).

O EC age no ovário alterando sua função endócrina, comprometendo a qualidade do oócito e promovendo alterações na função folicular (GENDELMAN et al., 2010; FERREIRA et al., 2011). Segundo Wilson et al. (1998), fêmeas da raça Holandesa em EC apresentam mais ciclos estrais de três ondas e a concentração sanguínea de estradiol 17 β torna-se reduzida. Isto foi creditado à redução da concentração de estrógeno, o qual participa do mecanismo uterino de luteólise. Observaram que após a interrupção do EC as vacas apresentaram luteólise e reinício de seu desenvolvimento folicular normal.

Reforçando os achados dos pesquisadores acima citados, Bridges, Brusie e Fortune (2005), observaram *in vitro*, que um CT de 41°C em cultura de folículos obtidos de no-

vilhas Holandesas no dia seis pós-estro diminuiu ($p < 0.05$) a secreção de androstenediona e estradiol e aumentou a de progesterona, quando comparados com 37°C (grupo controle) e 39°C (hipertermia moderada), sugerindo luteinização prematura, um fenômeno previamente associado à persistência de folículos dominantes nestes animais.

O aumento do consumo de matéria seca (MS) eleva o fluxo sanguíneo hepático, metabolismo de esteroides sexuais e, conseqüentemente, uma redução na concentração sanguínea destes esteroides. O aumento da ingestão de água e a redução no consumo de MS são marcantes em animais com estresse térmico (RONCHI; STRADAIOLI; VERINI SUPPLIZI, 2001). Essa redução no consumo de MS visa à diminuição da taxa metabólica, bem como a produção de calor endógeno.

Embora a fêmea em EC consuma menos MS, ela apresenta uma baixa concentração de esteroides sexuais na circulação, em parte devido aos desarranjos nas células luteínicas da granulosa e teca em resposta ao calor, e também, em parte à baixa disponibilidade de colesterol a ser usado como substrato para a biossíntese de esteroides devido à diminuição da disponibilidade de substrato lipídico provocado pela queda na ingestão de MS (RONCHI, et al., 1999). Baixa concentração de progesterona aumenta a pulsatilidade de LH e os prejuízos que o calor causa na granulosa e teca, diminuem a produção de estradiol/inibina induzindo à codominância folicular, ou seja, o mecanismo de seleção do folículo dominante é alterado pelo EC (TORRES-JÚNIOR, et al. 2008).

Os mecanismos que conduzem à codominância folicular, como alterações no perfil plasmático dos esteroides, diminuição da inibina e aumento das concentrações de FSH circulante estão presentes nos estudos relacionados ao estresse sazonal e/ou agudo (WILSON et al., 1998; WILTBANK, 2006). Isto também foi observado no estudo de Roth et al. (2000), no qual vacas de alta produção (35 kg de leite/dia) apresentaram diminuição nas concentrações de E_2 ($p < 0,01$) e inibina ($p < 0,02$) no grupo EC em relação ao grupo sob termoneutralidade, reforçando a hipótese de que há um efeito deletério aditivo do EC na lactação, influenciando negativamente os mecanismos endócrinos e a dinâmica ovariana de bovinos.

Em um estudo abrangente, Hansen e Aréchiga (1999) relatam que os embriões sofrem efeito da temperatura quando as mães tornam-se hipertérmicas, sendo que os oócitos nos estágios finais de maturação, sob EC, reduzem sua síntese proteica, a taxa de fertilização e o subsequente desenvolvimento embrionário. Os danos maiores no estágio de desenvolvimento foram encontrados quando o CT foi aplicado nos oócitos, em relação aos embriões de duas células. Também, CT afeta mais embriões de duas células do que as de quatro a oito, não afetando mórulas, indicando uma possível aquisição de termorresistência. Os mesmos autores demonstraram ainda que os embriões respondem ao EC materno, dependendo do estágio de desenvolvimento, e que o período de CT mais crítico para o embrião é entre o final da maturação oocitária, ovulação e os primeiros dias após a fertilização. Dessa maneira, seria interessante manter um ambiente de conforto térmico para vacas doadoras essencialmente neste período.

Estratégias para reduzir os efeitos do estresse por calor na fertilidade

Estudos antigos já evidenciavam que o EC reduz o tempo (MONTY; WOLFF, 1974 ; ABILAY; JOHNSON; MADAN, 1975) e a intensidade do estro (GANGWAR; BRANTON; EVANS, 1965). Tecnologias que manipulam o crescimento folicular e a ovulação progrediram consideravelmente ao ponto da obtenção de boas taxas de gestação. Embora haja uma grande variação de protocolos de inseminação artificial em tempo fixo (IATF), que são baseados em injeções programadas de determinados hormônios, todos eles baseiam-se ou no uso de Prostaglandina $F2\alpha$ e Hormônio Liberador de Gonadotrofinas (PURSLEY; MEE; WILTBANK, 1995) ou na utilização de dispositivos de liberação lenta de progesterona com injeções de estradiol (BARUSELLI et al., 2004). Assim, protocolos de IATF eliminam a necessidade de detecção de estro e o uso de programas de IATF após o parto tem aumentado a taxa de gestação durante os períodos mais quentes do ano, reduzindo perdas na eficiência reprodutiva causada pela baixa detecção do estro (ARÉCHIGA; STAPLES; MACDOWELL, 1998).

Os efeitos deletérios no desenvolvimento embrionário dependem do dia relativo à ovulação em que as vacas são submetidas ao EC. Deste modo, fêmeas submetidas à EC, do dia da IA até sete dias após, tem o desenvolvimento embrionário prejudicado neste período, apresentando menor taxa de viabilidade embrionária e de blastocisto (MACEDO; ZÚCCARI; COSTA E SILVA, 2012b; ROCHA et al., 2012).

Programas de transferência de embriões (TE) e produção de embriões *in vitro*, podem ser utilizados para aumentar a fertilidade durante o verão, por não expor o desenvolvimento embrionário inicial aos efeitos do calor. Embriões, coletados e congelados em ambientes ou épocas mais amenas e transferidos para receptoras no dia sete após o estro, já passaram pelo período mais termosensível de desenvolvimento (EALY; DROST; HANSEN, 1993; EDWARDS; HANSEN, 1996), proporcionando maiores taxas de gestação.

Ranieri et al. (2012) observaram que vacas Holandesas de alta produção repetidoras de cio apresentam maiores taxas de concepção em programa de TE durante o verão (41,9%; 102/243) que no inverno (32,5%; 81/249; $P = 0,03$). Entretanto, resultados de IATF na taxa de concepção aos 30 e 60 dias foram menores no verão (19,6%; 21/107 e 16,8%; 18/127) que no inverno (39,7%; 91/229 e 34,9%; 80/229). Apesar de não ter sido constatado efeito de estação do ano na taxa de concepção aos 30 e 60 dias de vacas inseminadas por observação de cio, este método sempre apresenta menores taxas de serviço, devido as menores taxas de identificação de cio. Assim, fica evidente que dentre as biotecnologias apresentadas, a embrião-terapia possui uma capacidade maior de transpor os efeitos do calor, oferecendo um melhor resultado (prenhez), como observado nas Figuras 1 e 2. Algumas fazendas de leite têm substituído completamente a IA pela TE, alcançando melhores taxas de prenhez e acelerando o ganho genético entre gerações.

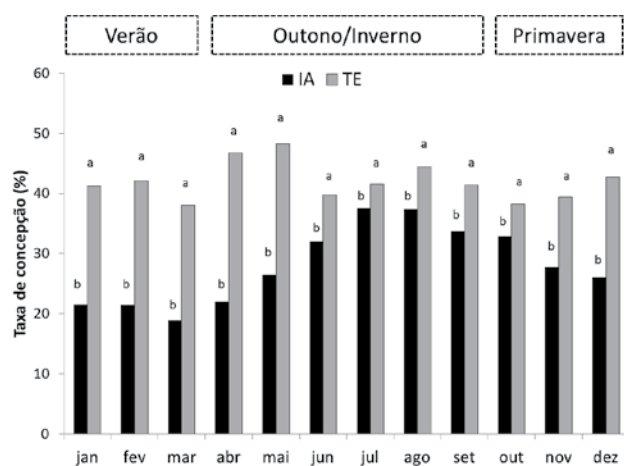


Figura 1: Taxa de concepção de vacas Holandesas de alta produção submetidas à inseminação artificial (barras pretas, n = 18.568) ou transferência de embriões (barras cinza, n = 4.871). Adaptado de Rodrigues et al. (2007).

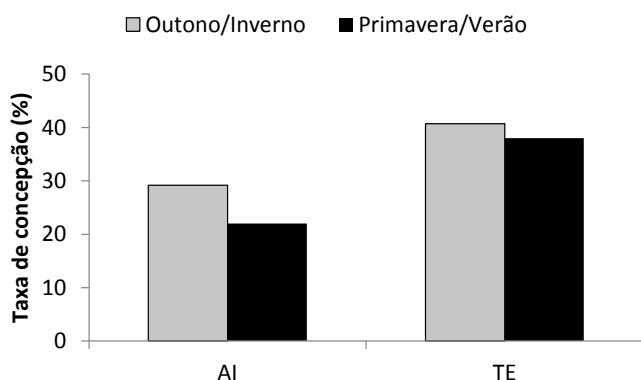


Figura 2: Taxa de concepção de vacas Holandesas de alta produção submetidas à inseminação artificial (n = 19.112) ou transferência de embriões (n = 5.364) durante as estações quentes (barra preta) e frias (barra cinza). Adaptado de Freitas et al. (2010).

O embrião durante o início do período de pré-implantação, depende quase que exclusivamente do RNAm materno e das proteínas que o oócito conseguiu estocar antes do período de ovulação. Com isso, é possível que o embrião não seja capaz de sobreviver por não possuir os produtos de origem materna necessários, ou por não começar a expressar seus genes no momento certo (MEMILI;FIRST, 2000).

Dessa forma, a termotolerância de embriões jovens depende quase que exclusivamente do genótipo do oócito e não do espermatozoide (HANSEN, 2004; SATRAPA et al., 2011), ou seja, em lugares de clima quente, é provável que ao se realizar a IA em vacas mais adaptadas ao calor (*Bos indicus*) com sêmen de touros *Bos taurus*, eleve-se a fertilidade durante o EC, por meio da diminuição da mortalidade embrionária nos primeiros dias pós-fertilização.

Neste sentido, Block, Chase e Hansen (2002) notaram que embriões produzidos pela fertilização de ovócitos da raça Brahman com espermatozoides Angus, produziram embriões mais termotolerantes (CT no dia quatro pós-fertilização, 41°C por seis horas) que na fertilização de ovócitos de vacas Holandesas com sêmen Angus ($p < 0.001$). Porém, Pegorer et al. (2007) inseminando vacas holandesas, sob ETC durante o verão, com sêmen de touros Gir, aumentaram a taxa de prenhez em 9,1%, comparado com sêmen de touros

Holandeses que resultaram em aumento de 5,0% ($P = 0,008$). Assim, sugeriram que há também um efeito paterno na resistência embrionária ao ETC. Esses resultados indicam que gene ou genes que atribuem termotolerância celular ao embrião jovem são conferidos maternalmente (somente o alelo materno sendo expresso) ou que a termotolerância em embriões jovens depende em parte de fatores geneticamente controlados produzidos no ovócito.

Há uma clara diferença genética na resistência ao EC entre raças bovinas tropicalmente adaptadas e não adaptadas, sendo as primeiras capazes de manter menor temperatura corporal em ambientes quentes. De acordo com Hansen et al. (2001), principalmente em raças não adaptadas, é possível uma seleção genética para resistirem ao EC, pois a herdabilidade estimada para tolerância ao calor em bovinos é alta (0,25 a 0,65). Estes pesquisadores, afirmam ainda que existam genes específicos que possam ser selecionados, e que estes imprimem um aumento na habilidade termorregulatória, como por exemplo, aqueles para cor da pele e o *sllick*, gene identificado em gado Senepol que causa um menor comprimento do pelo.

A identificação de genes responsáveis por aumentar a resistência celular ao CT pode permitir a transferência desses genes às raças termossensíveis por meio de cruzamentos ou técnicas de manipulação genética. Isso seria muito importante para raças não adaptadas a climas tropicais, pois o EC afeta não somente o desenvolvimento embrionário, mas qualquer outra célula (em maior ou menor frequência) do organismo (KAMWANJA et al., 1994; PAULA-LOPES et al., 2003).

A determinação de moléculas essenciais para a proteção celular ao calor proporcionaria formas de tratamento com a suplementação das mesmas, o que reduziria o efeito deletério do EC. Oócitos bovinos no estágio de vesícula germinativa, expostos ao CT (41°C por 14h) têm suas funções alteradas, basicamente, devido à redução na atividade mitocondrial, desencadeamento na cascata de apoptose, possivelmente por via caspase-independente, e redução na competência do desenvolvimento oocitário. Dessa forma, o IGF-I em concentrações fisiológicas reverte os efeitos negativos causados pelo CT no oócito no estágio de vesícula germinativa (LIMA, 2012).

Por outro lado, Bonilla et al. (2011) demonstraram que a exposição de embriões bovinos no estágio de duas células ao CT de 41°C reduziu a porcentagem de blastocistos no dia oito e que a suplementação do meio de cultivo *in vitro* com 100 ng/ml de IGF-I não minimizou os efeitos deletérios do CT no desenvolvimento embrionário. No entanto, quando o IGF-I foi adicionado ao meio de cultivo de embriões com mais de 16 células coletados no dia cinco após a fertilização e submetidos ao CT de 42°C por 15h houve efeito benéfico, resgatando o desenvolvimento embrionário nestes embriões.

O efeito deletério do EC na função oocitária já foi bem caracterizado em estudos sazonais. Nestes experimentos o número de folículos, oócitos e a proporção de partenotos que clivaram até o estágio de duas ou quatro células foi mais alta para os oócitos coletados na estação fria quando comparados à estação quente (GENDELMAN et al., 2010).

Outro ponto que poderia ser considerado é a manipulação farmacológica da temperatura corporal do animal durante o período quente, entretanto, é algo de pouco interes-

se em bovinos. Vale ressaltar que a alimentação com cultura de extratos de fungos *Aspergillusoryzae* reduz a temperatura corporal (HUBER; HIGGINBOTHAM; GOMEZ-ALARCON, 1994).

Em regiões com temperaturas consideravelmente elevadas, ambientes físicos sem estrutura adequada para a manutenção da homeostase dos animais e manejo aversivo influem negativamente na manutenção da temperatura corporal ideal dos bovinos, prejudicando seu desempenho. Dessa forma, há a necessidade de prover um ambiente com recursos disponíveis na pastagem como sombra suficiente e água fresca e limpa (EALY; DROST; HANSEN, 1993; PARANHOS DA COSTA; CROMBERG, 1997). Também, principalmente em gado de corte, é viável proporcionar ambiente climatizado em determinados períodos, para categorias de animais de alto valor agregado (financeiro e zootécnico), buscando elevar os índices reprodutivos.

Para gado de leite, é possível alterar o ambiente por acondicionamento térmico natural (localização do galpão, orientação, paisagismo circundante e materiais adequados de cobertura) e artificial (ventilação forçada e resfriamento evaporativo do ar). Com isto, pode-se manter o animal sob termoneutralidade, considerando, as temperaturas críticas inferiores de -6°C e 7°C e as críticas superiores de 27°C e 35°C para taurinos e zebuínos, respectivamente (BACCARI JÚNIOR, 1989). Sem dúvida, haverá uma melhora na eficiência reprodutiva, entretanto a variação sazonal ainda persistirá nas espécies sensíveis ao fotoperíodo (HANSEN; ARÉCHIGA, 1999).

A termotolerância pode ser induzida em embriões bovinos no estágio de blastocisto por uma exposição primária destes a um CT brando antes de receberem um CT letal. A indução à termotolerância (40°C por 80 min) protege embriões bovinos a CT de 41°C, prevenindo apoptose dos blastômeros (PAULA-LOPES; HANSEN, 2000). As mudanças adaptativas que levam em conta a indução de termotolerância são provavelmente mudanças na expressão de genes e/ou da atividade de sistemas bioquímicos que governam a integridade e função celular em face de insultos ambientais tais como temperaturas elevadas (EDWARDS et al., 2001).

Conhecendo os mecanismos biológicos envolvidos na apoptose de embriões durante o período em que é executada a inovação (blastocisto), aumentam-se consideravelmente as possibilidades de obtenção de melhores índices reprodutivos. Isso se estende a vacas doadoras, no período de aspiração, super ovulação e/ou no momento da IATF até a coleta de embriões, considerando a sensibilidade dos embriões a elevadas cargas térmicas nesse período, independente da forma com que a temperatura corporal da vaca é afetada, pois a função reprodutiva pode ser comprometida com o aumento de apenas 1°C no interior do corpo do animal (HANSEN, 2004).

Considerações Finais

O estresse por calor causa sérios efeitos na função reprodutiva. Efeitos estes que vão desde alterações endócrinas e no ambiente ovariano e uterino, até a influência direta no ovócito e embrião. Fica evidente a necessidade de domínio das bases fisiológicas e celulares que conferem resistência ao calor, proporcionando conhecimento para o

desenvolvimento de manejos e protocolos específicos que minimizem a elevada carga térmica. Uma vez que genes específicos que atribuem termotolerância são mapeados e identificados, estratégias de reprodução assistida por marcadores podem conferir resistência ao estresse por calor em animais produtivos, mesmo que termo sensíveis. O estresse por calor também pode ser prevenido com uma melhoria do ambiente, incluindo a interação homem x animal, ou mesmo induzindo os embriões a termotolerância por meio de um choque térmico brando.

Referências

- ABILAY, T. A.; JOHNSON, H. D.; MADAN, M. Influence of environmental heat on peripheral plasma progesterone and cortisol during the bovine estrous cycle. **Journal of Animal Science**, v. 58, p.1836-1840, 1975.
- AL-KATANANI, Y. M.; HANSEN, P. J. Induced thermotolerance in bovine two-cell embryos and the role of heat-shock protein 70 in embryonic development. **Molecular Reproduction and Development**, v. 62, p.174-180, 2002.
- ARÉCHIGA, C. F.; STAPLES, C. R.; MCDOWELL, L. R. Effects of timed insemination and supplemental b-carotene on reproduction and milk yield of dairy cows under heat stress. **Journal of Dairy Science**, v. 81, p. 390-402, 1998.
- BACCARI JÚNIOR, F. Manejo ambiental para produção de leite nos trópicos. In: CICLO INTERNACIONAL DE PALESTRAS SOBRE BIOCLIMATOLOGIA ANIMAL, 1., 1986, Botucatu. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1989. p. 45-53.
- BARUSELLI, P. S. et al. The use of hormonal treatments to improve reproductive performance of anestrus beef cattle in tropical climates. **Animal Reproduction Science**, v. 82-83, p. 479-486, 2004.
- BLOCK, J.; CHASE JUNIOR, C. C.; HANSEN, P. J. Inheritance of resistance of bovine preimplantation embryos to heat shock: Relative importance of the maternal versus paternal contribution. **Molecular Reproduction and Development**, v. 63, p. 32-37, 2002.
- BONILLA, A. Q. S. et al. Developmental changes in thermoprotective actions of insulin-like growth factor-1 on the preimplantation bovine embryo. **Molecular and Cellular Endocrinology**, v. 332, p.170-179, 2011.
- BRIDGES, P. J.; BRUSIE, M. A.; FORTUNE, J. E. Elevated temperature (heat stress) in vitro reduces androstenedione and estradiol and increases progesterone secretion by follicular cells from bovine dominant follicles. **Domestic Animal Endocrinology**, v. 29, p. 508-522, 2005.
- EALY, A. D.; DROST, M.; HANSEN, P. J. Physiology and management. Z changes in embryonic resistance to adverse effects of maternal heat stress in cows. **Journal of Dairy Science**, v. 76, p. 2899-2905, 1993.

- EDWARDS, J. L.; HANSEN, P. J. Elevated temperature increases heat shock protein 70 synthesis in bovine two-cell embryos and compromises function of maturing oocytes. **Biology of Reproduction**, v. 55, p. 340-346, 1996.
- EDWARDS, J. L. et al. Responsiveness of early embryos to environmental insults: potential protective roles of hsp70 and glutathione. **Theriogenology**, v. 55, n. 2, p. 209-223, 2001.
- FERREIRA, R. M. et al. The low fertility of repeat-breeder cows during summer heat stress is related to a low oocyte competence to develop into blastocysts. **Journal of Dairy Science**, v. 94, p. 2383-2392, 2011.
- FREITAS, B. G. et al. Embryonic loss (between 30 and 60 days) followed to artificial insemination or embryo transfer in high production Friesian dairy cattle. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 38, p. 781, 2010.
- GANGWAR, P. C.; BRANTON, C.; EVANS, D. L. Reproductive and physiological response of Holstein heifers to controlled and natural climatic conditions. **Journal of Dairy Science**, v. 48, p. 222-227, 1965.
- GENDELMAN, M. et al. Seasonal effects on gene expression, cleavage timing, and developmental competence of bovine preimplantation embryos. **Reproduction**, v. 140, p. 73-82, 2010.
- GRUNERT, E.; BIRGEL, E. H.; VALE, W. G. **Patologia e clínica da reprodução dos animais mamíferos domésticos**. São Paulo: Varela, 2005. 551 p.
- HAFEZ, E. S. E.; HAFEZ, B. **Reprodução animal**. 7. ed. São Paulo: Manole, 2004.
- HANSEN, P. J. Effects of heat stress on mammalian reproduction. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 364, p. 3341-3350, 2009.
- HANSEN, P. J. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. **Animal Reproduction Science**, v. 82-83, p. 349-360, 2004.
- HANSEN, P. J.; ARÉCHIGA, C. F. Strategies for managing reproduction in the heatstressed dairy cow. **Journal of Animal Science**, v. 77, p. 36-50, 1999.
- HANSEN, P. J. et al. Adverse impact of heat stress on embryo production: causes and strategies for mitigation. **Theriogenology**, v. 55, p. 91-103, 2001.
- HERNÁNDEZ-CERÓN, J.; CHASE JUNIOR, C. C.; HANSEN, P. J. Differences in heat tolerance between preimplantation embryos from Brahman, Romosinuano, and Angus breeds. **Journal of Dairy Science**, v. 87, p. 53-58, 2004.
- HUBER, J. T.; HIGGINBOTHAM, G.; GOMEZ-ALARCON, R. A. Heat stress interactions with protein, supplemental fat, and fungal cultures. **Journal of Dairy Science**, n. 77, p. 2080-2090, 1994.
- KAMWANJA, L. A. et al. Responses of bovine lymphocytes to heat shock as modified by breed and antioxidant status. **Journal of Animal Science**, v. 72, p. 438-444, 1994.
- KRININGER III, C. E. et al. Differences between Brahman and Holstein cows in response to estrus synchronization, superovulation and resistance of embryos to heat shock. **Animal Reproduction Science**, v. 78, p. 13-24, 2003.
- LIMA, R. S. **O papel do fator de crescimento semelhante à insulina-I sobre os efeitos deletérios do choque térmico em oócitos bovinos no estágio de vesícula germinativa**. 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Ciências veterinárias, Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2012.
- MACEDO, G. G.; ZÚCCARI, C. E. S. N.; COSTA e SILVA, E. V. Efeito do estresse na eficiência reprodutiva de fêmeas bovinas. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 36, p. 10-17, 2012a.
- MACEDO, G. G.; ZÚCCARI, C. E. S. N.; COSTA e SILVA, E. V. Temperature and humidity in the brazilian center-east affecting the in vivo embryo production of Nelore cows. **Archives of Veterinary Science**, v. 17, p. 44-51, 2012b.
- MEMILI, E.; FIRST, N. L. Zygotic and embryonic gene expression in cow: a review of timing and mechanisms of early gene expression as compared with other species. **Zygote**, v. 8, p. 87-96, 2000.
- MOENTER, S. M.; CARATY, A.; KARCH, F. J. The estradiol-induced surge of gonadotropin-releasing hormone in the ewe. **Endocrinology**, v. 127, p. 1375-1384, 1990.
- MONTY, D. E.; RACOWSKY, C. In vitro evaluation of early embryo viability and development in summer heat-stressed, superovulated dairy cows. **Theriogenology**, v. 28, p. 451-465, 1987.
- NEBEL, R. L. et al. Use of radio frequency data communication system, HeatWatch®, to describe behavioral estrus in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 80, p. 179 (abstr), 1997.
- PARANHOS DA COSTA, M. J. R.; CROMBERG, V. U. Alguns aspectos a serem considerados para melhorar o bem estar dos animais em sistemas de pastejo rotacionado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 1997, Piracicaba. **Palestras...** Fundamentos do Pastejo Rotacionado, 1997, p. 273-296.
- PAULA-LOPES, F. F. et al. Genetic divergence in cellular resistance to heat shock in cattle: differences between breeds developed in temperate versus hot climates in responses of preimplantation embryos, reproductive tract

tissues and lymphocytes to increased culture temperatures. **Reproduction**, v. 125, p. 285-294, 2003.

PAULA-LOPES, F. F.; HANSEN, P. J. Heat Shock-Induced apoptosis in preimplantation bovine embryos is a developmentally regulated phenomenon. **Biology of Reproduction**, v. 66, p.1169-1177, 2002.

PAULA-LOPES, F. F.; HANSEN, P. J. Heat-induced apoptosis in preimplantation bovine embryos. **Biology of Reproduction**, v. 62, p.13, 2000.

PEGORER, M. F. et al. Influence of sire and sire breed (Gyr versus Holstein) on establishment of pregnancy and embryonic loss in lactating Holstein cows during summer heat stress. **Theriogenology**, p. 67, v. 692-697, 2007.

PURSLEY, J. R.; MEE, M. O.; WILTBANK, M. C. Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF2 α and GnRH. **Theriogenology**, v. 44, p. 915-923, 1995.

PUTNEY, D. J.; DROST, M.; THATCHER, W.W. Embryonic development in superovulated dairy cattle exposed to elevated ambient temperatures between Days 1 to 7 post insemination. **Theriogenology**, v. 30, p.195-209, 1988.

RANIERI, A. L. et al. Effect of meloxicam on conception rates of high-producing Holstein cows submitted to ET, AI or FTAI during summer and winter. In: ANNUAL MEETING OF THE BRAZILIAN EMBRYO TECHNOLOGY SOCIETY (SBTE), 26., 2012. Foz do Iguaçu, **Proceedings**... São Paulo: Brazilian Embryo Technology Society, 2012. 484 p.

RIVERA, R. M.; HANSEN, P. J. Development of cultured bovine embryos after exposure to high temperatures in the physiological range. **Reproduction**, v.121, p.107-115, 2001.

ROCHA, D. R. et al. Impacto do estresse térmico na reprodução da fêmea bovina. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, v. 36, p.18-24, 2012.

RODRIGUES, C. A. et al. Conception rate after artificial insemination and embryo transfer in high producing holstein cows. *Acta Scientiae Veterinariae*, v. 33, p.1254, 2007.

ROELOFS, J. et al. When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology*, v. 74, p. 327-344, 2010.

RONCHI, B. et al. Distinct and common effects of heat stress and restricted feeding on metabolic status in Holstein heifers. **Zootecnia e Nutrição Animal**, v. 25, p. 71-80, 1999.

RONCHI, B.; STRADAIOLI, G.; VERINI SUPPLIZI, A. Influence of heat stress or feed restriction on plasma progesterone, oestradiol-17 β , LH, FSH, prolactin and cortisol in Holstein heifers. **Livestock Production Science**, v. 68, p. 231-241, 2001.

ROTH, Z.; HANSEN, P. J. Disruption of nuclear maturation and rearrangement of cytoskeletal elements in bovine oocytes exposed to heat shock during maturation. **Reproduction**, v.129, p. 235-244, 2005.

ROTH, Z. et al. Immediate and delayed effects of heat stress on follicular development and its association with plasma FSH and inhibin concentration in cows. **Journal of Reproduction and Fertility**, v.120, p. 83-90, 2000.

SAKATANI, M. et al. Changes in the transcriptome of morula-stage bovine embryos caused by heat shock: relationship to developmental acquisition of thermotolerance. **Reproductive Biology and Endocrinology**, v. 15, p. 11, 2013.

SAKATANI, M. et al. Effect of summer heat environment on body temperature, estrous cycles and blood antioxidant levels in Japanese Black cow. **Animal Science Journal**, v. 83, p. 394-402, 2011 .

SARTORI, R.; BARROS, C. M. Reproductive cycles in **Bos indicus** cattle. *Animal Reproduction Science*, v.124, p. 244-250, 2011.

SATRAPA, R. A. et al. Influence of sire breed (**Bos indicus** versus **Bos taurus**) and interval from slaughter to oocyte aspiration on heat stress tolerance of in vitro-produced bovine embryos. *Theriogenology*, v. 76, p. 1162-1167, 2011.

SHEHAB-EL-DEEN, M. A. M. M. et al. Circadian rhythm of metabolic changes associated with summer heat stress in high-producing dairy cattle. **Tropical Animal Health and Production**, v. 42, p. 1119-1125, 2010.

SUGIYAMA, S. et al. Effects of increased ambient temperature on the development of in vitro derived bovine zygotes. **Theriogenology**, v. 60, p.1039-1047, 2003.

TORRES-JÚNIOR, J. R. et al. Effect of maternal heat-stress on follicular growth and oocyte competence in **Bos indicus** cattle. **Theriogenology**, v. 69, p.155-166, 2008.

WILSON, S. J. et al. Effects of controlled heat stress on ovarian function of dairy cattle. 2. Heifers. **Journal of Dairy Science**, v. 81, p. 2132-2138, 1998.

WOLFENSON, D. et al. Seasonal and acute heat stress effects on steroid production by dominant follicles in cows. **Animal Reproduction Science**, v. 47, p. 9-19, 1997.

WOLFENSON, D. et al. Effect of heat stress on follicular development during the estrous cycle in lactating dairy cattle. **Biology of Reproduction**, v. 52, p.1106-1113, 1995.

Recebido em: 17/04/2013

Aceito em: 17/09/2013