



## Aplicação de métodos fractais na detecção de alterações placentárias

Application of fractal methods in the detection of placental changes

Aplicación de métodos fractales en la detección de cambios placentários

Paloma Vitória Melo da Silva<sup>1</sup>, Raissa Gomes de França<sup>1</sup>, Maria Clara Chár Gomes<sup>1</sup>, Carlos Eduardo da Silva<sup>1</sup>, Luiza Rebeca Soares da Lima<sup>1</sup>, Alison José da Silva<sup>1</sup>, Ana Vitória Ferreira dos Santos<sup>1</sup>, Bruno Mendes Tenorio<sup>1</sup>, Elba Verônica Matoso Maciel de Carvalho<sup>1</sup>, Fernanda das Chagas Angelo Mendes Tenorio<sup>1</sup>.

### RESUMO

**Objetivo:** Analisar a formação, a estrutura e a classificação para diferentes espécies e a importância do bom funcionamento da placenta a partir de análises morfológicas de insuficiências placentárias. **Revisão bibliográfica:** A placenta, em mamíferos, é uma das estruturas vitais para a interação materno-fetal. Essa estrutura é responsável pela proteção contra estresses mecânicos, regulação endócrina durante a gestação, desenvolvimento do novo indivíduo bem como facilita a comunicação materno-fetal na troca de substâncias nutritivas, gasosas e imunológicas que são fundamentais até o nascimento do feto e caso não ocorra como deveria pode levar ao óbito de uma ou ambas as partes. Desse modo, a utilização do método fractal para a análise das estruturas auxilia na detecção de possíveis alterações. **Considerações finais:** Pode se considerar que a placenta é muito importante e tem peculiaridades para cada espécie referida a respeito da maneira que é constituída inicialmente com as suas estruturas internas, também foi possível compreender a sua estrutura, formação e suas funcionalidades na manutenção na saúde materno-fetal dos seres humanos.

**Palavras-chave:** Placenta, Interação materno-fetal, Funções placentárias, Alterações placentárias, Método fractal.

### ABSTRACT

**Objective:** To analyze the formation, structure and classification for different species and the importance of a well-functioning placenta based on morphological analyses of placental insufficiencies. **Bibliographic review:** The placenta in mammals is one of the vital structures for maternal-fetal interaction. This structure is responsible for protection against mechanical stress, endocrine regulation during pregnancy, the development of the new individual, as well as facilitating maternal-fetal communication in the exchange of nutritional, gaseous and immunological substances that are fundamental until the birth of the fetus and, if they do not occur as they should, can lead to the death of one or both parties. Therefore, the use of the fractal method to analyze structures helps to detect possible changes. **Final considerations:** It can be considered that the placenta is very important and has peculiarities for each species in terms of the way it is initially constituted and its internal structures. It was also possible to understand its structure, formation and functions in maintaining maternal and fetal health in humans.

**Keywords:** Placenta, Maternal-fetal interaction, Placental functions, Placental changes, Fractal method.

### RESUMEN

**Objetivo:** Analizar la formación, estructura y clasificación en diferentes especies, así como la importancia del buen funcionamiento de la placenta a partir del análisis morfológico de las insuficiencias placentarias. **Revisión bibliográfica:** La placenta en los mamíferos es una de las estructuras vitales para la interacción materno-fetal. Esta estructura es responsable de la protección contra el estrés mecánico, de la regulación endocrina durante la gestación, del desarrollo del nuevo individuo, así como de facilitar la comunicación

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife - PE.

materno-fetal en el intercambio de sustancias nutricionales, gaseosas e inmunológicas, que son fundamentales hasta el nacimiento del feto y que, si no se producen como deberían, pueden conducir a la muerte de una o ambas partes. Por tanto, el uso del método fractal para analizar estructuras ayuda a detectar posibles cambios. Por tanto, el uso del método fractal para analizar estructuras ayuda a detectar posibles cambios. **Consideraciones finales:** Se puede considerar que la placenta es muy importante y tiene peculiaridades para cada especie en cuanto a la forma en que se constituye inicialmente y sus estructuras internas. También fue posible comprender su estructura, formación y funcionalidades en el mantenimiento de la salud materna y fetal en los seres humanos.

**Palabras clave:** Placenta, Interacción materno-fetal, Funciones placentarias, Cambios placentarios, Método fractal.

## INTRODUÇÃO

A placenta, em mamíferos, é um tecido discóide responsável por diversas funções, como transporte de nutrientes, oxigênio e resíduos metabólicos. Além de proteção imunológica do feto contra doenças e infecções maternas, atua também na função endócrina, secretando hormônios importantes para o desenvolvimento e crescimento (BURTON GJ e JAUNIAUX E, 2015). Ela também é responsável pela barreira placentária que se caracteriza pela distinção entre a circulação da mãe e a do feto (CARMO LL, 2023). Esse órgão é uma das estruturas vitais para estabelecer o feto no útero materno, uma vez que sua conformação é proveniente da interação dos tecidos materno e fetal, sendo o ponto de encontro dos sistemas circulatórios destes, assim, atua na manutenção e desenvolvimento durante a gestação. (MOREIRA, et al., 2024; OLIVEIRA AC, 2015).

A placenta é um órgão temporário formado pelas membranas endometriais de origem materna e pelo mesoderma extraembrionário somático fetal. Ele é composto por uma rede de vasos sanguíneos que facilitam as trocas metabólicas entre a circulação materna e fetal, circulação de hormônios e de anticorpos, essenciais para o bom andamento da gestação (BURTON GJ e JAUNIAUX E, 2015). Ademais, possíveis alterações na formação das estruturas acarretam prejuízos à saúde materno-fetal, que a partir da utilização do método fractal para a análise pode ser detectado e observado de maneira mais complexa. Dessa forma, este trabalho trata de uma revisão bibliográfica, cujo objetivo é reunir dados embasados em artigos científicos que foram coletados e utilizados para o entendimento da morfologia, bem como dos aspectos metabólico, endocrinológico e imunológico da placenta. Além da aplicação do método fractal para a detecção de alterações na mesma.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Placenta

A placentação humana é definida como a invasão da camada de células trofoblásticas na decídua basal, estrutura materna, e no miométrio, que estabelece, assim, uma interface entre o blastocisto, e o endométrio decidualizado (BARTHES M, et al., 2025). Após o período de implantação, as células do sinciotrofoblasto invadem o endométrio feminino que passará a ser nomeado por decídua basal durante a gravidez, estando com o blastocisto completamente embutido nesta e ainda coberto pelo epitélio de superfície. Lacunas com fluidos se formam na camada do sinciotrofoblasto que serão futuramente preenchidas com sangue, promovendo o primeiro contato vertical materno-fetal, sendo denominado córion frondoso.

Ao fim da segunda semana de desenvolvimento, as células do citotrofoblasto, camada de células que envolvem todo o blastocisto na porção interior, chamado de córion liso, estabelecem projeções que direcionam-se para o sinciotrofoblasto, formando, assim, as vilosidades coriônica primárias (TURCO MY e MOFFETT A, 2019). Na sequência, ao final da terceira semana a mesoderma extraembrionário cresce em direção a essas vilosidades constituindo o núcleo conjuntivo frouxo, como essas estruturas agora estão unidas recebe-se o nome de vilosidades coriônicas secundárias. Os vasos sanguíneos se formam nessa mesoderma, marcando a vilosidade coriônica terciária, e essas células do citotrofoblasto se estendem em direção à decídua formando uma casca que possui projeções em formato de ramos cuja função é importantíssima na comunicação vertical antes mencionada.

Quando essas vilosidades terciárias se unem aos vasos embrionários originados do alantóide dão origem à circulação fetal (CARMO LL, 2023; TURCO e MOFFETT, 2019). A placenta é formada por duas superfícies distintas: a fetal (placa coriônica) e a materna (placa basal). A primeira é coberta pela membrana amniótica a qual secreta o líquido amniótico, servindo este como proteção fetal e um facilitador nas trocas entre mãe e feto. A superfície materna, observada no parto, é formada pela decídua, que se divide em: decídua basal, parte integrante da placenta; decídua capsular, porção de crescimento embrionário; e decídua parietal, que sobrou do tecido. Ela é organizada em lobos ou cotilédones, separadas por sulcos, formando cerca de 10/40 regiões, que compõem a placa coriônica (CARMO LL, 2023; NOVIS MI, et al., 2021; WOODING FP e BURTON GJ, 2008).

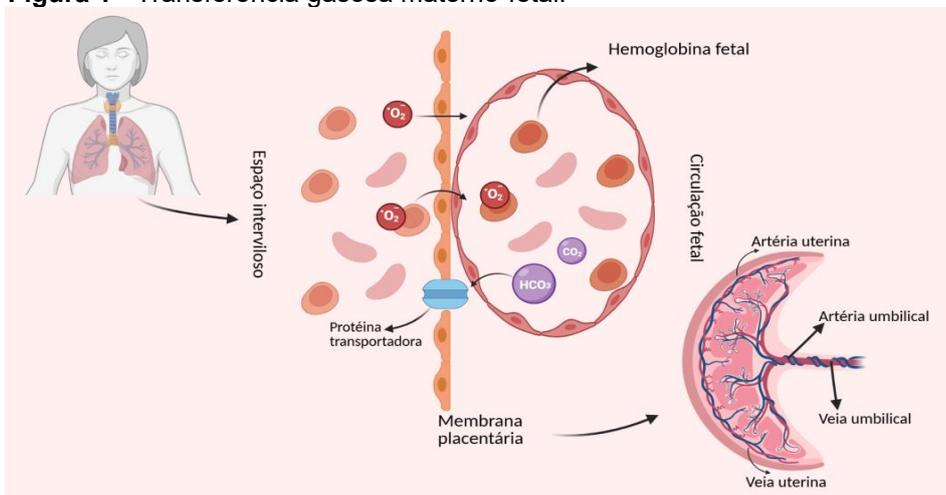
### Placenta na Transferência Gasosa

Os pulmões do feto não realizam trocas gasosas quando ainda estão no útero, logo a placenta passa a ser a responsável pela transferência desses gases (DONNELLY L e CAMPLING G, 2019). O transporte dos gases ocorre basicamente por difusão simples, ou seja, não há gasto energético com influência de intermediários. A limitação desse processo é dada pelo fluxo sanguíneo, visto que a permeabilidade placentária é alta (MOORE LK e PERSAUD TVN, 2008). O oxigênio (O<sub>2</sub>) atravessa a placenta por difusão passiva, pelo seu pequeno tamanho molecular e pela lipossolubilidade desse gás.

Entretanto, a passagem da mãe para o feto é favorecida pela hemoglobina fetal, que carrega esse gás, e depende do gradiente de pressão parcial de oxigênio entre os diferentes sangues (BARTHES M, et al., 2025; PRADO CVGB, et al., 2015). Assim, o sucesso do transporte é favorecido pela pressão parcial do oxigênio, pela geometria do fluxo placentário e pela quantidade e afinidade da hemoglobina fetal com o oxigênio. A queda no aporte de oxigênio fetal está associada à diminuição da taxa de crescimento e atividade comportamental do feto (**Figura 1**). Já o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o produto final do metabolismo oxidativo de todas as células do organismo. Ele está em equilíbrio com os íons bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) através da formação de ácido carbônico em uma reação química catalisada pela anidrase carbônica (PRADO CVGB, et al., 2015).

Portanto, a transferência desse gás ocorre não apenas pela difusão pela sua forma dissolvida, dependente do gradiente de pressão parcial entre os sangues do feto e da mãe mas também como HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, o qual é altamente permeável e limitado pelo fluxo, havendo a necessidade de proteínas transportadoras (**Figura 1**). A conexão materno-fetal faz com que o sangue materno retenha dióxido de carbono, tornando-se mais acidótico e o fetal mais alcalino, o que favorece a passagem desses gases. Com isso, o CO<sub>2</sub> é carregado na forma de bicarbonato e carbaminohemoglobina e o O<sub>2</sub> na forma de oxihemoglobina (BARTHES M et al., 2025) (**Figura 1**).

**Figura 1** - Transferência gasosa materno-fetal.



**Nota:** Imagem elaborada por meio do programa BioRender.

**Fonte:** Silva PVM, et al., 2025. Fundamento em: Barthes M, et al., 2025.

## Placenta na Transferência Metabólica

Devido à baixa produção metabólica do feto, é necessária a transferência dos metabólitos via placenta, participando da nutrição e desenvolvimento. Entre as moléculas transportadas é possível encontrar glicose, aminoácidos, ácidos graxos, eletrólitos, vitaminas e água, sendo estes nutrientes importantes para o crescimento saudável (BARTHES M, et al., 2025; MACNAB WR, 2025). A glicose é o principal substrato de energia para o metabolismo materno-fetal, sendo assim, a glicemia fetal equivale a dois terços da glicemia materna. Ela é transportada por difusão passiva por um curto limite, o que implica na presença de transportadores permitindo a difusão facilitada. A família de transportadores é denominada GLUT contém 14 isoformas (GLUT1-14), com um domínio líquido de SLC2A1/GLUT1 e SLC2A3/GLUT3 no trofoblasto humano.

A GLUT1 é responsável pela maior parte das transferências e o GLUT3 é importante na regulação desse transporte e está presente nas células endoteliais dos capilares fetais. Desse modo, a glicose pode ser transportada para a membrana do sinciotrofoblasto para secretar para o endotélio dos capilares fetais (BARTHES M, et al., 2025; BRÓLIO MP, et al., 2010) (**Figura 2**). Os aminoácidos apresentam concentrações maiores no sangue fetal que no materno, com exceção do glutamato e do aspartato. Por serem moléculas grandes e eletricamente neutras faz-se necessário o transporte ativo para o interior da placenta; assim, existe um conjunto com mais de 10 famílias de transportadores de aminoácidos. Os mecanismos desses transportadores podem ser divididos em dois grupos: de acumulação e de intercâmbio.

O sistema acumulativo envolve a captação de um aminoácido específico no sinciotrofoblasto, entretanto, o de troca permite a captação de um aminoácido com a troca de outro (BARTHES M, et al., 2025; BRÓLIO MP, et al., 2010) (**Figura 2**). Os ácidos graxos são sintetizados em uma parte pelo feto mas a concentração de lipídios transferidos para a membrana é elevada, penetrando rapidamente por difusão simples no sinciotrofoblasto. Lipoproteínas maternas podem ser capturadas via receptores específicos ou receptores “varredores”. Além disso, há produção pela lipase placentária, especialmente lipoproteínas lipases nos microvilos da membrana. A transferência de colesterol está associada à síntese dos esteróides e manutenção das membranas do trofoblasto (BRÓLIO MP, et al., 2010) (**Figura 2**). O transporte de íons está relacionado com o fornecimento de cátions e ânions importantes para o metabolismo e a manutenção dos gradientes eletroquímicos necessários para a transferência de outros compostos.

As concentrações de sódio e cloro são parecidas ao sangue materno. Já o potássio e os íons fosfato são mais elevados no sangue fetal (**Figura 2**). As vitaminas solúveis em água atravessam a placenta por difusão simples, como ascorbato, folato e riboflavina, essenciais para o desenvolvimento fetal. As vitaminas solúveis em lipídios como A, D, E e K apresentam concentrações baixas na circulação fetal (BARTHES M, et al., 2025; BRÓLIO MP, et al., 2010). A partir do equilíbrio de Starling, a transferência passiva de água se dá pela diferença de pressões hidrostáticas entre as circulações materno-fetal. Ademais, o transporte é facilitado por canais proteicos transmembrana, as aquaporinas (BARTHES M, et al., 2025) (**Figura 2**).

**Figura 2** - Transferência metabólica entre as circulações materno-fetal.



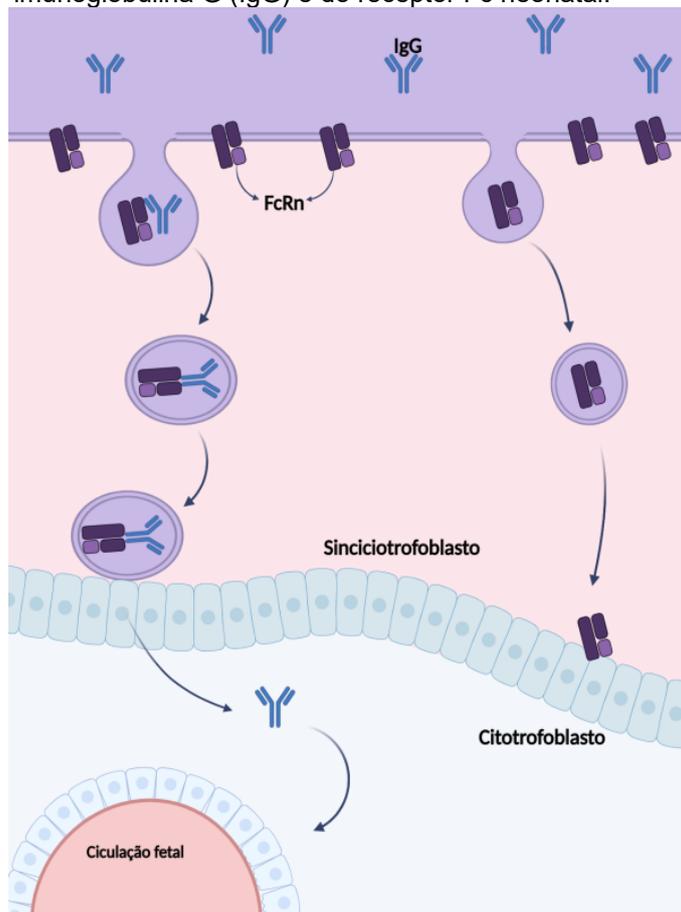
**Nota:** Imagem elaborada por meio do programa BioRender; Glicose: proteínas transportadoras. **Fonte:** Silva PVM, et al., 2025. Fundamento em: Barthes M, et al., 2025.

### Placenta na Função Imunológica

A barreira placentária, que separa os sistemas circulatórios materno e fetal, impede a passagem de moléculas grandes, embora, os anticorpos maternos podem passar fornecendo uma imunidade passiva, protegendo o feto de doenças e infecções, até que o sistema imune seja formado por completo (DONNELLY L e CAMPLING G, 2019; MACNAB WR, 2025). Durante a gestação, metade dos antígenos do feto tem origem paterna e ocorre a transferência fisiológica das imunoglobulinas para este pelo útero. A imunidade passiva adquirida pelo feto através da placenta é importante para a adaptação do recém-nascido ao ambiente extrauterino, protegendo contra agentes infecciosos durante os primeiros meses de vida (CIOBANU AM, et al., 2020). A imunoglobulina G (IgG) é a única imunoglobulina com alto peso molecular, que tem a capacidade de atravessar a placenta e alcançar a circulação fetal.

A transferência de anticorpos IgG ocorre via transcitose (combinação de endocitose e exocitose), a partir da décima terceira semana, por meio das células da camada de sincício, através dos receptores Fc neonatais (FcRn) presente na região. A transcitose inicia com a entrada do IgG materna dentro de endossomos, o que torna a região acidificada, permitindo a ligação da Fc e IgG com o receptor FcRn da membrana interna do endossomo. O subtipo IgG1 é mais rapidamente transferido do que o IgG2. No terceiro trimestre de gravidez, os níveis fetais de IgG ultrapassam os níveis de IgG materna. Ao mesmo tempo, com altas concentrações de IgG, os receptores FcRn ficam supersaturados e os IgG não ligados são destruídos, gerando um menor transporte de IgG para o feto, mantendo, assim, o equilíbrio das concentrações nos organismos materno-fetais (CIOBANU AM, et al., 2020) (**Figura 3**).

**Figura 3** - Passagem transplacentária de imunoglobulina G (IgG) e do receptor Fc neonatal.

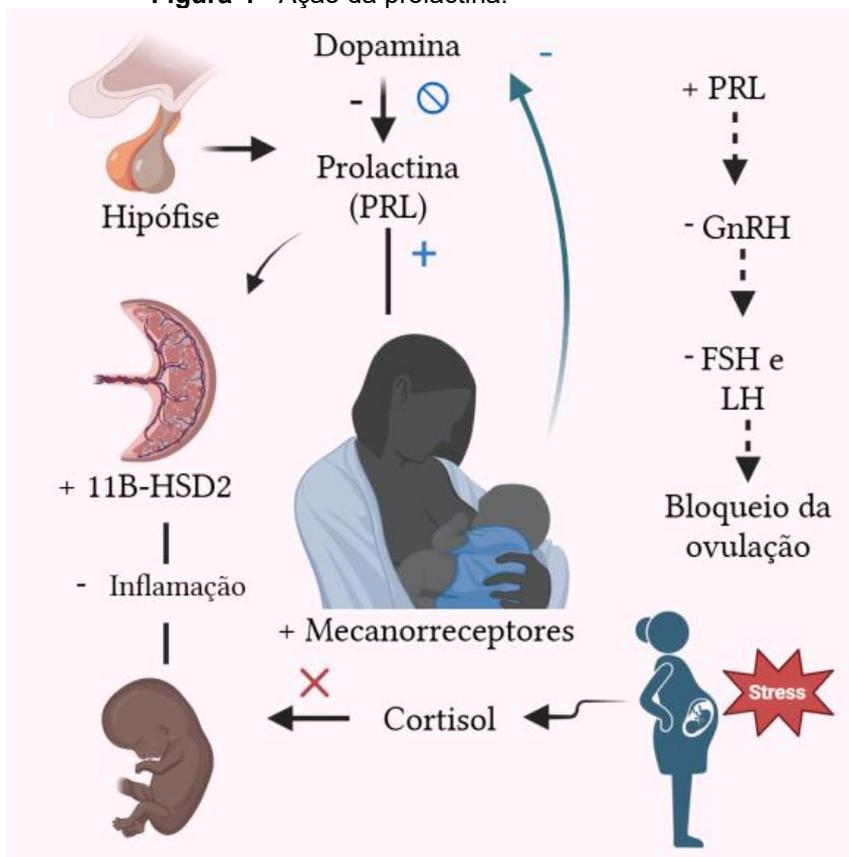


**Nota:** Imagem elaborada por meio do programa BioRender. **Fonte:** Silva PVM, et al., 2025. Fundamento em: Barthes M, et al., 2025.

### Placenta na Regulação Endócrina

A placenta é um órgão endócrino transitório que é capaz de sintetizar hormônios como o lactogênio placentário (LP) e a prolactina (PRL), a enzima 11 $\beta$ -hidroxidesidrogenase tipo 2 (11 $\beta$ -HSD2) atua como uma barreira de proteção enzimática (BURTON GJ e JAUNIAUX E, 2015; SILVA PC, 2022), apresentando uma diversidade secretora que supera qualquer um dos outros órgãos endócrinos. Ela produz uma série de hormônios esteroides e proteicos, fatores de crescimento, entre outros, que contribui para o desenvolvimento e bem-estar do embrião e da gestante (GRIFFITHS SK e CAMPBELL JP, 2015; SKALBA P, DABKOWSKA-HÚC A e CHELMICKI Z, 2003) (**Figura 4**). Muitas são as funções atribuídas à prolactina uma vez que atua em vias fisiológicas, fatores comportamentais, de imunorregulação, crescimento, metabólicos, angiogênese e ainda controla transferência do volume e dos íons do líquido amniótico, impedindo mudanças bruscas nesse âmbito que venham comprometer o desenvolvimento do feto (SILVA PC, 2022).

**Figura 4 - Ação da prolactina.**



**Nota:** Imagem elaborada por meio do programa BioRender.

**Fonte:** Silva PVM, et al., 2025. Fundamento em: Barthes M, et al., 2025.

Já o lactogênio e o hormônio do crescimento (GL) são hormônios homólogos, mas enquanto o primeiro é produzido exclusivamente na placenta, este último e a PRL provêm da adeno-hipófise (SILVA PC, 2022) que durante a gravidez tem sua fonte advinda da decidua e é transportada pelo saco amniótico acumulando-se nele.

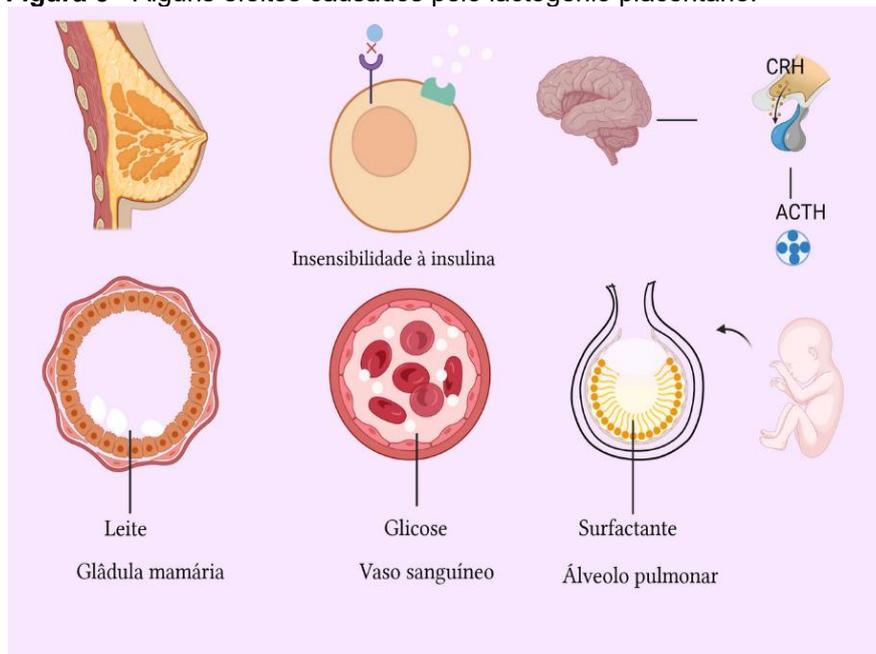
Quando a PRL está presente nesse saco, as substâncias que promovem inflamações estão em baixa. No período próximo ao parto esses níveis são reduzidos (GRIFFITHS SK e CAMPBELL JP, 2015; ZAGA-CLAVELLINA V, et al., 2025). Os hormônios esteroides são a progesterona e o estrogênio, que apresentam um equilíbrio no controle da atividade uterina. Inicialmente, o corpo lúteo é responsável pela produção da progesterona até a sétima semana de gravidez, logo após, a placenta passa a assumir esse papel até a nona semana.

Ela é essencial para a integridade do colo do útero e quiescência uterina e está associada com a diminuição da contratilidade do miométrio e das junções de hiato neste, a partir da baixa na produção de prostaglandinas e do desenvolvimento de canais de cálcio e receptores de oxitocina (KOTA SK, et al., 2013) (**Figura 4**). A progesterona, o progestogênio mais importante, induz alterações morfológicas e moleculares no endométrio necessário para a implantação embrionária, auxiliando também na quiescência miometrial e na modulação do sistema imunológico materno para que haja tolerância da mãe em relação ao feto, embora os estrogênios tenham efeitos neovasculares, eles preparam a mama para a lactação e aumentam a regulação dos receptores de LDL e das enzimas esteroidogênicas para a produção de progesterona (RODRÍGUEZ-CORTÉS YM e MENDIETA-ZERÓN H, 2014).

O estrogênio é um dos principais hormônios produzidos na gravidez, apresentando aumento ao longo do período gestacional. Ele promove diversas alterações miometriais ligadas as contrações uterinas coordenadas, as quais estão envolvidas no aumento dos receptores de oxitocina, síntese de conexina e formação de junções de hiato no miométrio (KOTA SK et al., 2013) (**Figura 4**). Entre os hormônios proteicos, a gonadotrofina coriônica (HCG) e o lactogênio placentários (HPL) estão presentes nesse órgão. O HCG é um hormônio glicoproteico produzido pelo sincitiotrofoblasto viloso, e suas funções incluem: induzir a progesterona no corpo lúteo evitando a luteólise; proporcionar a angiogênese na vasculatura uterina; estimular crescimento uterino; minimizar as contrações miometriais durante o período gestacional; regula a ação pró-inflamatória; induz o bloqueio dos macrófagos maternos, impedindo a invasão das células placentárias e estimula a produção de interleucina 10 (IL-10), a qual funciona como reguladora das uNK, que são induzidas concomitantemente pela produção de HCG, reduzindo a resposta citotóxica que pode ocorrer em patologias como a pré-eclâmpsia e entre outras funções imprescindíveis para a manutenção do feto (COLE LA, 2010; RODRÍGUEZ-CORTÉS YM e MENDIETA-ZERÓN H, 2014).

O HPL é um hormônio de crescimento fetal que influencia no metabolismo materno, tornando os ácidos graxos a fonte principal de energia e auxiliando no desenvolvimento das glândulas mamárias para a produção de leite (RODRÍGUEZ-CORTÉS YM e MENDIETA-ZERÓN H, 2014). Nessa ótica, tem como função a redução da sensibilidade materna à insulina ao aumentar os níveis de glicose sanguínea da mãe. Ele estimula a produção de surfactante pulmonar no feto e a síntese de hormônios adrenocorticotróficos (ZAGA-CLAVELLINA V, et al., 2025) (**Figura 5**).

**Figura 5** - Alguns efeitos causados pelo lactogênio placentário.



**Nota:** Imagem elaborada por meio do programa BioRender. **Fonte:** Silva PVM, et al., 2025. Fundamento em: Barthes M, et al., 2025.

O hormônio de crescimento placentário (PGH) é liberado pelo sinciciotrofoblasto e está presente desde a sexta semana de gestação, atuando na passagem de nutrientes pela placenta. Esse hormônio exerce seu efeito por mecanismos autócrinos e parácrinos que são regulados pelo fator de crescimento da insulina I. Existe uma correlação positiva entre o peso ao nascer e o valor de PHG em gestações de mulheres saudáveis já que em diabéticas esses índices diminuem (RODRÍGUEZ-CORTÉS YM e MENDIETA-ZERÓN H, 2014). Outrossim, a relaxina que é expresso no corpo lúteo da decidua e no trofoblasto. Ela tem efeitos deciduais, angiogênicos e imunológicos porque aumenta a secreção de polimorfonucleares, CD56+ (uNK) e CD68+ (macrófagos), no endométrio, sem ter efeitos sobre os linfócitos T CD3. Além de atuar como agonista do receptor de glicocorticoide humano no metabolismo da glicose.

O efeito mais importante deste hormônio na gravidez é o relaxamento do colo do útero para facilitar sua dilatação, além de ser responsável pelo relaxamento uterino que inclui o miométrio, possuindo ações antifibróticas e regulação da ocitocina hipofisária. Ela é detectada em torno do sétimo dia gestacional até o décimo sexto dia, diminuindo no trabalho de parto (RODRÍGUEZ-CORTÉS YM e MENDIETA-ZERÓN H, 2014). Ativina e Inibina são proteínas diméricas que se destacam pela função biológica na gravidez sendo elas a inibina A e a activina- A, que é produzida pela própria placenta.

A importância deste último hormônio reside na sua associação com a modulação da secreção de FSH. No ciclo menstrual, os níveis de activina aumentam na fase lútea folicular. A secreção de inibina e activina-A apresentam alterações em diferentes doenças gestacionais, sendo relacionadas como marcadores de viabilidade trofoblástica, tumores trofoblásticos, hipoxia fetal e pré-eclâmpsia (RODRÍGUEZ-CORTÉS YM e MENDIETA-ZERÓN H, 2014). Em suma, a placenta sintetiza e secreta uma série de substâncias endógenas que têm grande importância na regulação dos diferentes estágios gestacionais, e participando desde as primeiras semanas até o início da amamentação. A produção ineficiente ou alteradas dessas substâncias podem alterar o desenvolvimento e a função da placenta.

### **Método Fractal e Aplicação Metodológica**

O método fractal caracteriza-se como uma abordagem matemática e geométrica que descreve um tipo particular de forma geométrica, que se difere de figuras simples e regulares como o círculo ou o quadrado, caracterizando por apresentar uma estrutura repetida em diferentes escalas. Essa técnica tem grande relevância na quantificação e análise morfológica de objetos com formatos irregulares ao tornar estes semelhantes a outros estruturalmente e biologicamente, quando essas medidas estão em proporções diferentes do esperado são assim vistas como alterações (SHAH R, et al., 2023).

No contexto placentário, aplicação desse método, embora ainda não incidente, representa um grande avanço metodológico, visto que permite a identificação e diferenciação das estruturas presentes, assim como, os padrões vasculares e morfológicos presentes na superfície coriônica e a distribuição das vilosidades em diferentes fases da gestação e em distintas condições patológicas. A literatura científica, embora ainda relativamente restrita nessa área, aponta a eficiência do método fractal na análise de alterações estruturais associadas às patologias gestacionais. A análise fractal da placenta nessas diferentes escalas pode proporcionar uma melhor compreensão dos mecanismos que regulam a gestação e, bem como, favorece a identificação precoce de potenciais fatores de risco (SHAH R, et al., 2023).

No que diz respeito à escala alométrica, ela descreve a relação entre o tamanho, a forma ou a fisiologia do órgão que se modificam com base no metabolismo e as suas demandas sem questão muda em relação ao metabolismo. Assim, a placenta humana, em condições normais, apresenta um formato arredondado, exibindo, em casos de alterações funcionais significativas, possui um formato distinto e irregular. Outro fator importante no estudo fractal da placenta são as vilosidades coriônicas, uma vez que são as principais unidades funcionais da interface materno-fetal, o que contribui na circulação de gases e metabólitos entre os organismos. A avaliação morfométrica das vilosidades permite a descrição quantitativa da distribuição e comportamental da placenta. Um estudo indica o aumento proporcional da dimensão fractal das vilosidades com o número de cigarros fumados por dia pela gestante, o que demonstra o impacto negativo na eficiência planetária (SHAH R, et al., 2023).

Segundo Costa DS (2022), a utilização do método fractal mostrou-se eficaz na investigação das alterações estruturais e funcionais da placenta em casos de restrição de crescimento fetal (RCF), que compromete a perfusão do órgão. Desse modo, a redução da área dos capilares fetais com o aumento da complexidade anatômica da área de circulação placentária é um fator relevante que pode desencadear consequências no desenvolvimento fetal. Ademais, a associação com outras técnicas como histopatologia, morfometria, imunohistoquímica, possibilitou a caracterização de alterações em estruturas importantes, tais como vilosidades avasculares, proeminentes nós sinciciais, calcificações, mudança da área de capilar fetal e do índice apoptótico.

Essas complicações gestacionais são relevantes no contexto de patologias associadas a agentes externos. A aplicação do método fractal não se restringe a análise morfológica, mas se expande em área de diagnóstico médico, visto que tem sido usada juntamente com técnicas de processamento de imagens. Os classificadores *K-Nearest Neighbors* (K-NN) ou *Support Vector Machines* (SVM), os quais integram o método fractal com algoritmos de inteligência artificial, tem se mostrado bastante eficiente na identificação automática de microcalcificações na placenta em exames de imagem, que são indicativos de envelhecimento placentário ou agressões do ambiente externo, como o tabagismo materno.

Tal metodologia permite o diagnóstico precoce e preciso, reduzindo os possíveis erros na interpretação de exames, dessa maneira, contribui na intervenção clínica mais eficaz e rápida. Conclui-se que o método fractal é uma promissora na detecção de alterações placentárias, permitindo a quantificação objetiva de estruturas complexas que poderiam passar despercebidas nas avaliações corriqueiras. Sua aplicação possibilita intervenções mais precoces e contribui para o avanço do conhecimento sobre a fisiopatologia placentária (MIRON M, et al., 2022).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A placenta é um órgão muito importante para a comunicação e circulação materno-fetal, auxiliando no transporte dos nutrientes e resíduos metabólicos, além da regulação imunológica e endócrina. Além disso, a má formação acarreta no surgimento de alterações placentárias, que, por sua vez, a partir do método fractal é possível sua análise e detecção, sendo relevante para o tratamento o bom andamento da gestação.

## REFERÊNCIAS

1. BARTHES M, et al. La placenta humana. EMC - Ginecología-Obstetricia, 2025; 61(1): 1-21.
2. BRÓLIO MP, et al. A barreira placentária e sua função de transferência nutricional. Revista Brasileira de Reprodução Animal, 2010; 34(4): 222-232.
3. BURTON GJ e JAUNIAUX E. What is the placenta? American Journal of Obstetrics & Gynecology, 2015; 213(4): 1-7.
4. CARMO LL. Placenta. Kenhub, 2023. Disponível em: <https://www.kenhub.com/pt/library/anatomia/a-placenta>. Acesso em: 29 mar. 2025.
5. CHUCRI TM, et al. Uma revisão da transferência imunológica pela placenta. Revista de Imunologia Reprodutiva, 2010; 87(1-2): 14-20.
6. CIOBANU AM, et al. Benefits and Risks of IgG Transplacental Transfer. Diagnostics, 2020; 10(8): 583.
7. COLE LA. Hyperglycosylated hCG, a review. Placenta, 2010; 31(8): 653-664.
8. Costa DS. Análise fractal e histopatológica de placentas humanas de fetos com restrição de crescimento. Dissertação (Mestrado em Morfotecnologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.
9. DONNELLY L e CAMPLING G. Functions of the placenta. Anaesthesia & Intensive Care Medicine, 2019; 20(7): 392-396.
10. FRANDSON RD e WILKE WL, et al. Anatomia e fisiologia dos animais da fazenda. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014; 7: 413.
11. GRIFFITHS SK e CAMPBELL JP. Placental structure, function and drug transfer. Continuing Education in Anaesthesia Critical Care & Pain, 2015; 15(2): 84-89.

12. KOTA SK, et al. Endocrinology of parturition. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 2013; 17(1): 28-35.
13. MACNAB WR. Functions of the placenta. *Anaesthesia and Intensive Care Medicine*, 2025; 26(1): 1-5.
14. MIRON M e MOLDOVANU S, et al. A New Approach in Detectability of Microcalcifications in the Placenta during Pregnancy Using Textural Features and K-Nearest Neighbors Algorithm. *Journal of Imaging*. 2022; 8(3): 81.
15. MOORE LK e PERSAUD TVN. *Embriologia básica*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008; 7: 528.
16. MOREIRA VR, et al. Aspectos anatômicos da placenta nos animais domésticos. INIC 2024. Universidade Federal do Espírito Santo, 2024.
17. NOVIS MI, et al. Placental magnetic resonance imaging: normal appearance, anatomical variations, and pathological findings. *Radiologia Brasil*, 2021.
18. OLIVEIRA AC. Aspectos da Fisiologia da Placenta nos Animais Domésticos e Retenção de Placenta nos Bovinos. Revisão de Literatura. Monografia (Conclusão do curso de Medicina Veterinária) - Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2015. Disponível em: [http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/24002/A](http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/24002/A%20LINE%20CONCEI%2087%2083O%20DE%20OLIVEIRA%20-%20TCC%20MED.VETERIN%2081RIA%20STR%202015.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Acesso: em 28 mar. 2025.
19. PRADO CVGB, et al. Transporte placentário de gases - Revisão. *Revista de Ciência Veterinária e Saúde Pública*, 2015; 2(1): 34-44.
20. RODRÍGUEZ-CORTÉS YM e MENDIETA-ZERÓN H. La placenta como órgano endocrino compartido y su acción en el embarazo normoevolutivo. *Revista de Medicina e Investigación*, 2014; 2(1): 28-34.
21. SHAH R e SALAFIA C, et al. Fractal Analysis - Applications and Updates: Placental Growth and Development Analyzed through 2D and 3D Fractals. *Intech Open*, 2023.
22. SILVA PC. Impactos do estresse térmico por calor sobre a placenta de cabras: função endócrina e estresse oxidativo. 2022. Tese de Doutorado. (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga. Disponível em: [https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=13290164](https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=13290164). Acesso em: 30 abr. 2025.
23. SKALBA P e DABKOWSKA-HÚC A, et al. The endocrinology of the human placenta. *Wiad Lek*, 2003; 56(9-10): 475-480.
24. TURCO MY e MOFFETT A. Development of the human placenta. *The Company of Biologists Ltd*, 2019.
25. WOODING FP e BURTON GJ. Comparative placentation: structures, functions and evolution. Berlin: Springer, 2008; 302.
26. ZAGA-CLAVELLINA V, et al. La prolactina, una hormona que ayuda al feto a protegerse de las infecciones. *Con Evidencia*, 2025; 6: 4-7.