



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS**

FABRÍCIA FRANÇA BEZERRIL

**CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E DE COMPOSTOS BIOATIVOS DO
XIQUE-XIQUE (*Pilosocereus gounellei* (A. Weber ex. K. Schum.) Bly. ex Rowl.)**

**JOÃO PESSOA - PB
2017**

FABRÍCIA FRANÇA BEZERRIL

**CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E DE COMPOSTOS BIOATIVOS DO
XIQUE-XIQUE (*Pilosocereus gounellei* (A. Weber ex. K. Schum.) Bly. ex Rowl.)**

**JOÃO PESSOA - PB
2017**

FABRÍCIA FRANÇA BEZERRIL

**CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E DE COMPOSTOS BIOATIVOS DO
XIQUE-XIQUE (*Pilosocereus gounellei* (A. Weber ex. K. Schum.) Bly. ex Rowl.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Rita de Cássia Ramos do Egypto Queiroga
Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria de Fátima Vanderlei de Souza

**JOÃO PESSOA - PB
2017**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

B574c Bezerril, Fabrícia França.

CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E DE COMPOSTOS BIOATIVOS DO
XIQUE-XIQUE (*Pilosocereus gounellei* (A. Weber ex. K.
Schum.) Bly. ex Rowl.) / Fabrícia França Bezerril. -
João Pessoa, 2017.

77 f. : il.

Orientação: Rita de Cássia Ramos do Egypto Queiroga.

Coorientação: Maria de Fátima Vanderlei de Souza.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Cactáceas. 2. Caatinga. 3. Caracterização
nutricional. 4. Bioacessibilidade. I. Queiroga, Rita de
Cássia Ramos do Egypto. II. Souza, Maria de Fátima
Vanderlei de. III. Título.

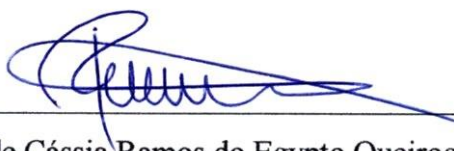
UFPB/BC

FABRÍCIA FRANÇA BEZERRIL

**CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL E DE COMPOSTOS BIOATIVOS DO
XIQUE-XIQUE (*Pilosocereus gounellei* (A. Weber ex. K. Schum.) Bly. ex Rowl.)**

Dissertação Aprovada em 24/03/17

BANCA EXAMINADORA



Prof^ª. Dr^ª Rita de Cássia Ramos do Egypto Queiroga (DN/UFPB/CCS)

- Orientadora -



Prof^ª. Dr^ª. Mônica Tejo Cavalcante (UATA/CCTA/UFCG)

-Examinadora Externa-



Prof^ª Dr^ª. Maria Elieidy Gomes de Oliveira (UAS/CES/UFCG)

-Examinadora Interna-

Aos meus pais, Fernando Antônio e Maria das
Dores, pelos cuidados e dedicação. A minha irmã,
Fernanda França e meu sobrinho, Ravi, pela
força, amor e carinho.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da bolsa de pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal da Paraíba (PPGCTA/UFPB), pela oportunidade na realização do mestrado, a todos os professores que o fazem parte e aos funcionários Lindalva Nóbrega e Fabrício, pela atenção e assistência concedidas.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Rita de Cássia Ramos do Egypto Queiroga, pela disponibilidade e confiança, pelos momentos de trocas, lições, crescimento e amizade ao qual sempre me proporciona.

À minha coorientadora, Prof^a. Dr^a. Maria de Fátima Vanderlei de Souza, pela oportunidade de trabalhar em conjunto.

À Prof^a. Dr^a. Maria Eliedy Gomes de Oliveira, pelo carinho, dedicação e sugestões de melhorias na construção deste trabalho.

À Prof^a Dr^a Maria Teresa Bertoldo Pacheco (Instituto de Tecnologia de Alimentos – ITAL), pela disponibilidade, atenção e parceria concedida para a realização desta pesquisa.

Ao Professor Pedro Dantas (Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande - DEAG/UFCG), pelas contribuições de extrema importância a esta pesquisa.

Ao Prof^o. Dr^o. Fábio de Souza (Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Farmacêuticos - UFPB), pelo suporte durante a realização das análises.

Ao Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA), Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba - (CT/UFPB), pela disponibilidade na utilização de equipamentos e ajuda técnica, na pessoa de Seu Cândido José.

À Prof^a Dr^a. Maria Lúcia da Conceição (Laboratório de Microbiologia de Alimentos do Centro de Ciências da Saúde – CCS/ UFPB), pelo apoio durante a realização das análises.

A Rafaella Paseto, Ana Maria e Vinícius pela amizade e colaboração durante a realização das análises no Laboratório de Análise Química de Alimentos - (CT/UFPB), com a supervisão da Prof^a. Dr^a. Marta Suely Madruga, a qual também agradeço imensamente.

Agradeço todo o apoio e incentivo aos meus pais, Fernando Antônio e Maria das Dores na construção deste trabalho, eles possibilitaram que os estudos acontecessem em minha vida e sem eles tudo teria sido mais difícil.

À minha irmã, Fernanda França e ao meu cunhado, Bruno leite, pela compreensão, carinho e companheirismo, em todos os momentos da minha vida.

Às minhas amigas Paloma Antonino, Tamires Machado, Yasmim Régis e em especial a Karol Sampaio, por quem eu tenho muito carinho e orgulho de construir este trabalho em conjunto e pelos momentos de descontração, que fizeram os dias mais leves e agradáveis durante a execução desta pesquisa. Agradeço também aos demais amigos do Laboratório de Bromatologia (CCS/UFPB), Amanda Sant'ana, Karla Kalígia, Carlos Eduardo, Luana Martiniano, Francyele Araújo, Tayanna Bernardo e as meninas do grupo xique-xique, pela companhia e amizade.

Por fim, aos amigos do mestrado do PPGCTA/UFPB, em especial a Ana Rita Araújo, Rodrigo Targino, Leanderson Túlio, Carine Maciel, Malanna Kauane e Fabíola Diniz, pelos momentos únicos compartilhados com vocês, os quais tornaram essa experiência maravilhosa em minha vida.

RESUMO

As cactáceas estão presentes abundantemente na região semiárida do Nordeste brasileiro. Entre suas espécies, o xique-xique (*Pilosocereus gounellei*) se encontra nas regiões mais secas do bioma Caatinga, o qual apesar de pouco conhecimento a respeito de sua constituição, tem seu uso na medicina popular, no tratamento de inflamações, assim como nos períodos de escassez é utilizado na alimentação humana e animal desta região. Neste estudo, foram avaliados os parâmetros de atividade de água, pH, acidez, sólidos solúveis, umidade, proteínas, lipídios, açúcares, fibras, cinzas, perfil mineral e de aminoácidos, fatores antinutricionais, atividade antioxidantes, perfil de compostos fenólicos e sua bioacessibilidade. Os ensaios compensaram-se em três grupos experimentais, denominados cilindro vascular, talo central e cilindro vascular + talo central, dando-se destaques à região do cilindro vascular para obter informações adicionais acerca dos fatores antinutricionais, perfil de fenólicos e bioacessibilidade desses compostos. Nos resultados obtidos, observaram-se diferenças ($p < 0,05$) entre os grupos em grande parte das variáveis analisadas, com exceção da atividade de água, pH e aminoácidos. Nos grupos experimentais foram observadas quantidades representativas de cálcio, magnésio, manganês, selênio e zinco, como também, conteúdo de fibras solúvel, no cilindro vascular, bem como, a presença de compostos fenólicos, como a quercetina e a epigallocatequina galato. Desta forma, com o estudo, visualiza-se o xique-xique como uma potencial alternativa alimentar, apontando possibilidades na utilização e no enriquecimento de diversos produtos alimentícios, com boa qualidade tecnológica e nutricional.

Palavras-chave: Cactáceas; Caatinga; Caracterização; Bioacessibilidade

SUMMARY

Cactaceae are abundantly present in the semi-arid region of Northeast Brazil. Among its species, the Xique-xique (*Pilosocereus gounellei*) is found in the drier regions of the Caatinga biome, which although little knowledge about its constitution, has its use in popular medicine, in the treatment of inflammations, as well as in periods of scarcity is used for food and feed in this region. In this study, water, pH, acidity, soluble solids, moisture, proteins, lipids, sugars, fiber, ash, mineral and amino acid profile, antioxidant activity, phenolic compounds profile and bioaccessibility . The assays were compensated in three experimental groups, called vascular cylinder, central thallus and vascular cylinder + central thallium, highlighting the vascular cylinder region to obtain additional information about the antinutritional factors, phenolic profile and bioaccessibility of these compounds. In the obtained results, differences ($p < 0.05$) were observed between the groups in most of the analyzed variables, except for water, pH and amino acids. In the experimental groups representative amounts of calcium, magnesium, manganese, selenium and zinc were observed, as well as soluble fiber content in the vascular cylinder, as well as the presence of phenolic compounds, such as quercetin and epigallocatechin gallate. In this way, with the study, the xique-xique is visualized as a potential food alternative, pointing out possibilities in the use and enrichment of various food products, with good technological and nutritional quality.

Keywords: Cactaceae; Caatinga; Description; Bioaccessibility

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração dos Biomas brasileiros.	15
Figura 2 – Ilustração do <i>Pilosocereus gounellei</i> (xique-xique) situado em Boa Vista – PB. .	18
Figura 3 – Cladódio e estruturas do xique-xique utilizado nas análises.....	22
Figura 4 – Fluxograma do delineamento experimental.	23

ARTIGO 1

Figura 5 - Cladódio e estruturas do xique-xique	74
--	----

LISTA DE TABELAS

Table 1 – Mean values of water activity, pH, acidity and total soluble solids (TSS) in xique-xique cladodes	74
Table 2 – Mean values of physico-chemical variables in xique-xique cladodes.....	75
Table 3 – Mineral profile in xique-xique cladodes.....	76
Table 4 – Amino acid content in xique-xique cladodes.....	77
Table 5 – Total phenolics and antioxidant activity in xique-xique vascular cylinder	78
Table 6 – Profile of phenolic compounds in xique-xique vascular cylinder	79

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 BIOMA CAATINGA.....	15
2.2 PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS (PANC).....	16
2.3 FAMÍLIA CACTACEAE	16
2.4 <i>Pilosocereus gounellei</i> ((A. Weber ex. K. Schum.) Bly. ex Rowl.).....	18
2.5 QUALIDADE NUTRICIONAL E ALTERNATIVA ALIMENTAR DE CACTÁCEAS	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 MATÉRIA-PRIMA.....	21
3.2 AMOSTRAGEM E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	21
3.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL	23
3.4 DETERMINAÇÃO DE FIBRAS E AÇÚCARES	24
3.5 PERFIL MINERAL	24
3.6 PERFIL DE AMINOÁCIDOS.....	25
3.7 FATORES ANTINUTRICIONAIS, COMPOSTOS FENÓLICOS, ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E BIOACESSIBILIDADE.....	25
3.7.1 DETERMINAÇÃO DE FATORES ANTINUTRICIONAIS	26
3.7.2 DETERMINAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS DO XIQUE-XIQUE	26
3.7.2.1 Método de extração do cilindro vascular do xique-xique.....	26
3.7.2.2 Fenólicos totais.....	26
3.7.2.3 Perfil de compostos fenólicos.....	26
3.7.3 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE.....	27
3.7.3.1 Desativação de radicais DPPH• (2,2-difenil-1-picrilhidrazila)	27
3.7.3.2 Poder redutor do ferro (Fe ⁺²) (FRAP).....	27
3.7.4 BIOACESSIBILIDADE DOS COMPOSTOS FENÓLICOS	28
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA	28
REFERÊNCIAS	29
4 RESULTADOS	35
4.1 ARTIGO 1.....	35

1 INTRODUÇÃO

A grande diversidade de plantas no mundo tem impulsionado estudos que buscam categorizá-las com bases em suas propriedades funcionais. Tais características, bem como a presença de compostos bioativos, têm estimulado um interesse mais amplo, devido especialmente, a uma grande parcela da população mundial possuir uma carência alimentar, seja ocasionada pela baixa ingestão de alimentos, ou ao acesso deficiente à alimentos saudáveis (BAJPAI et al., 2014; BHATT et al., 2017; ESQUINAS-ALCAZAR, 2005; MISHRA et al., 2015). O Brasil destaca-se neste cenário devido à existência de uma variedade em sua flora, com a presença de árvores frutíferas, nativas e exóticas e de sua vasta extensão territorial, as quais poderiam ser amplamente utilizadas na elaboração de diversos produtos com fins alimentícios (PEREIRA et al., 2013).

Entre os biomas brasileiros, a Caatinga, presente na região semiárida do país, apresenta grande riqueza, em especial ao comparar o número de espécies de plantas com outros ecossistemas. Entre outras espécies endêmicas encontradas nesta região, destaca-se a família Cactaceae (LUCENA et al., 2013). Embora seja um recurso pouco explorado no Brasil, comunidades rurais da região Nordeste, mantêm ao longo dos anos, conhecimentos e práticas de uso de cactáceas para suprir suas necessidades básicas, como socorro alimentar, em períodos de escassez de alimentos (NASCIMENTO et al., 2013; SILVA, 2015).

As Cactáceas integram o gupo das Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC), sendo popularmente chamadas de “cactus” na região do semiárido e são uma importante fonte de matriz alimentar para região (KINUPP; LORENZI, 2014). As PANC, em alguns países do mundo, são utilizadas como fonte de reserva em tempo de fome, calamidades naturais e na substituição da colheita, devido alterações climáticas. Desempenhando um papel importante no sistema de segurança alimentar, como suplemento, às principais plantas alimentares (CHANDRA et al., 2016).

Chaves e Barros (2015) citam que a utilização das cactáceas na alimentação humana, se restringe aos períodos de carência de alimentos, o que leva a efeitos negativos sobre a utilização das mesmas, sendo associada à sua utilização aos períodos de seca e fome, o que possivelmente influencia na geração de preconceitos e tabus, em respeito à utilização de espécies silvestres na alimentação. Desta forma, apesar do conhecimento da população, a utilização das cactáceas na alimentação é subutilizada fora desta condição. Pesquisadores elencaram aspectos alimentares e nutricionais que demonstraram o potencial dessa família,

sugerindo avaliações que orientem o uso sustentável e a elaboração de produtos (NASCIMENTO et al., 2012; PINTO; SCIO, 2014).

Dentre as espécies de cactáceas mais utilizadas pela população do Semiárido brasileiro, o *Pilosocereus gounellei*, popularmente conhecido como xique-xique, é uma cactácea que se desenvolve nas áreas mais secas desta região, e se multiplica regularmente, cobrindo extensas áreas da caatinga (LUCENA et al., 2015). Alguns estudos têm mostrado a importância dessa cactácea, como recurso alimentar para comunidades rurais no nordeste do Brasil (CHAVES et al., 2014; LUCENA et al., 2013; NASCIMENTO et al., 2013) e o seu potencial medicinal no tratamento de inflamação da próstata, icterícia, hiperglicemia e lesões e no tratamento de inflamações da uretra. Na polpa, foram detectados vestígios de classes de compostos químicos que podem atuar como antioxidantes. Entretanto, ainda são necessários mais estudos que abordem seu potencial (AGRA et al., 2008; ALBUQUERQUE et al., 2007; MEIADO et al., 2010; ROQUE et al., 2010).

O xique-xique possui característica de forte adaptação às condições do Semiárido nordestino, desta forma, torna-se uma excelente fonte de estudos que estimulem a sua utilização, como fonte de alimento e renda, orientando sua produção e aproveitamento em escala, devido ao seu potencial de adaptação às condições climáticas com baixos índices pluviométricos (ALMEIDA et al., 2007).

Frente a tais considerações, o presente estudo teve como objetivo a caracterização nutricional, perfil de compostos fenólicos e sua bioacessibilidade, nos cladódios do xique-xique. Desta forma, acredita-se que a caracterização do xique-xique, possam agregar valor positivo ao desenvolvimento e utilização desta cactácea, a qual está presente abundantemente na região do nordeste brasileiro, em todas as épocas do ano.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 BIOMA CAATINGA

O Brasil apresenta aproximadamente 210.000 espécies de plantas conhecidas, o qual corresponde a 13% da biota do mundo, tornando-o um país com a maior biodiversidade do planeta. Uma parcela considerável dessa diversidade encontra-se no Semiárido nordestino, conhecido como Caatinga, o qual apresenta diferentes constituições de sua vegetação, apresentando uma diversidade biológica e cultural (QUEIROZ et al., 2006). Esse bioma possui características particulares relacionadas ao clima, à vegetação e a temperatura, estando presente, de forma particular, no território brasileiro e ocupando todos os estados da região Nordeste e Norte de Minas Gerais, (Figura 1). O clima predominante é o Semiárido, com temperaturas médias anuais elevadas, estações chuvosas e de estiagem bem definidas, prevalecendo o período sem chuva a maior parte do ano (BRASIL, 2016).

Figura 1 – Ilustração dos Biomas brasileiros



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004)

Os recursos vegetais desse bioma disponibilizam diversos subsídios para sobrevivência das populações rurais existentes em seu meio, fornecendo os recursos que contribuem na qualidade de vida, como, por exemplo, as plantas que são utilizadas para fins terapêuticos, no uso como combustível ou em materiais de construção. (ALMEIDA et al., 2006; MONTEIRO et al., 2006; ALBUQUERQUE et al., 2007; LUCENA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2010).

A Caatinga apresenta alta diversidade de espécies de cactáceas as quais representam uma fonte alternativa de grande potencial produtivo, pois são utilizadas pela população local com diferentes objetivos, sejam para fins medicinais, no uso como combustível ou em materiais de construção. São também usadas na alimentação humana e animal, entretanto, ainda é um recurso pouco explorado (LUCENA et al., 2012; RIBEIRO et al., 2015).

2.2 PLANTAS ALIMENTÍCIAS NÃO CONVENCIONAIS (PANC)

As plantas alimentícias não convencionais (PANC), são “tipos” de plantas que não fazem parte do uso habitual da população, ou seja, são espécies que ocorrem abundantemente em uma determinada região e apresentam o mínimo de informação e utilização, um bom potencial de cultivo, elevada composição nutricional e compostos bioativos, assim como, apresentam potencial funcional e elevada produtividade. Entre as espécies de cactáceas consideradas PANC, destacam-se a *Napalea cochenilifera*, *Opuntia ficus-indica*, *Pereskia aculeata*, *Cereus hildmannianus*, *Hylocereus lemaire*, *Hylocereus undatus*, entre outras (KINUPPI; LORENZI, 2014).

A utilização de plantas comestíveis e das PANC, fazem parte da identidade cultural e práticas agrícolas de diversas regiões (BARREIRA et al., 2015; VOGGESSER et al., 2013). Entretanto, são pouco utilizadas ou são subutilizadas por uma parcela significativa da população, mesmo apresentando um baixo custo na sua utilização (KINUPP, 2007; LUIZZA et al., 2013). O conhecimento destas espécies, visam permitir o fornecimento da autonomia alimentar das famílias de baixa renda, pertencentes a estas regiões (BARREIRA et al., 2015; KING et al., 2011).

2.3 FAMILIA CACTACEAE

Nativos do México, os cactos são vegetais que possuem cerca de 130 gêneros e 1500 espécies, sendo encontrados principalmente nas regiões áridas e semiáridas (GUEVARA-FIGUEROA et al., 2010; MORALES et al., 2012). No Brasil, há cerca de 40 gêneros e 200 espécies, sendo 24 gêneros e 88 espécies presentes na região Nordeste. As cactáceas encontradas na região Nordeste, diferem das cactáceas encontradas na região Sul e Sudeste, sendo o estado da Bahia o centro de dispersão (LUCENA et al., 2013).

A família Cactaceae é uma das mais importantes fanerógamas da Caatinga. Sendo classificadas neste ambiente em espécies endêmicas e “indicadoras da caatinga”. Dentre as

espécies mais importantes desta família, encontram-se o *Cereus jamacaru* DC. subsp. *jamacaru*, *Pilosocereus gounellei* (F.A.C. Weber.) Byles & G.D. Rowley subsp. *gounellei* e *Pilosocereus pachyclauds* F. Ritter. subsp. *pernambucoensis* (F. Ritter) Zappi (DRUMONT et al., 2000; TAYLOR et al., 2015; ZAPII, 2008).

Algumas espécies, a exemplo da *Nopalea cochenillifera* e do mandacaru são utilizadas na medicina tradicional, atuando como agente anti-inflamatório, diurético e hipoglicemiante e em tratamento de úlceras e bronquites respectivamente (DAVET et al., 2009; NECCHI et al., 2012). As cactáceas são utilizadas na alimentação de bovinos, caprinos e ovinos, em especial na época da estiagem e representam um papel importante na economia rural do Nordeste, devido o seu valor forrageiro (ROCHA; AGRA, 2002). Entretanto, o uso forrageiro é um dos mais citados na literatura brasileira sobre a utilização desta família, diferentemente do México o qual é mais utilizado na alimentação humana e em Cuba que sua utilização é proeminentemente medicinal e ornamental (DAVET et al., 2009; LUCENA et al., 2015).

Uma das características que permitem as cactáceas a se desenvolverem em regiões semiáridas se deve a sua adaptação morfológica e fisiológica à baixa precipitação. A sua estrutura física permite o armazenamento de água durante os períodos de estiagem, além de sua estatura e folhas, as quais evoluíram em espinhos, e evitam a perda de água por evaporação (LUCENA et al., 2013).

Embora disponível durante todo o ano, as cactáceas são pouco ou mal utilizadas no Brasil, mesmo sendo tão características da região do Semiárido do nordeste brasileiro (SILVA, 2015). Pesquisas etnobotânicas com cactáceas foram realizadas em países como México, Cuba, Colômbia, EUA, África do Sul, Etiópia e Índia. No Brasil, inúmeras potencialidades desta família foram apontadas, principalmente na utilização como forragem e na alimentação animal e humana, com destaque para o *Cereus jamacaru* DC. subsp. *jamacaru*, *Pilosocereus gounellei* (F.A.C. Weber.) Byles & G.D. Rowley subsp. *gounellei*, apresentando resultados positivos (ANDRADE et al., 2006; LUCENA et al., 2012; 2013; NUNES et al., 2015), que estimulam para novas investigações acerca desta família.

Esta família vem sendo usada como fonte de micronutrientes na dieta de alguns países, principalmente nos em desenvolvimento, devido à presença de alguns minerais como cálcio e potássio que, entre outros nutrientes, são encontrados em abundância na composição das cactáceas (BATISTA et al., 2003; MCCONN et al., 2004; RAMÍREZ-MORENO et al., 2011).

2.4 *Pilosocereus gounellei* ((A. Weber ex. K. Schum.) Bly. ex Rowl.)

O xique-xique é uma espécie da família Cactaceae e o gênero *Pilosocereus* da subfamília Cactoideae, da tribo Cereeae. São aproximadamente 34 espécies, distribuídas do México ao Paraguai, apresentando vinte e seis espécies no Brasil, onde seis encontram-se no estado de Pernambuco (MARTINS et al., 2007; ZAPPI, 1994). É apontada como uma cactácea bastante comum no Semiárido nordestino, de tronco ereto, com galhos laterais afastados e que descreve suavemente uma curva ampla em direção ao solo, armada de espinhos fortes e de coloração verde opaca (BARBOSA, 1998) (Figura 2).

Figura 1 – Ilustração do *Pilosocereus gounellei* (xique-xique) situado em Boa Vista – PB



Fonte: Arquivo pessoal

Sendo uma espécie endêmica da região Nordeste do Brasil, tem distribuição nas regiões semiáridas, com ocorrência nos estados do Maranhão até a Bahia, podendo ser encontrada em solos pouco favoráveis a exemplo de solos rasos e sobre rochas. Apesar de pouco conhecimento a respeito de sua constituição físico-química, o xique-xique é muito utilizado na elaboração de bolos, doces e biscoitos, pela população rural (BARBOSA, 1998). Sua polpa, retirada do caule, apresenta uma consistência que, segundo Almeida et al. (2007), lembra o mamão verde. Lucena et al. (2013) apontaram a utilização da polpa (miolo) do xique-xique pela população do cariri paraibano na produção de farinha e cuscuz. Pela medicina, é muito utilizada no tratamento de infecções e inflamações (MACIEL et al., 2016).

Apesar do conhecimento medicinal de algumas espécies de cactos, o conhecimento obtido pela população do semiárido sobre essas espécies são passadas de geração em geração, a partir de informações obtidas através da experiência com o meio em que vivem. Partes do xique-xique, como o caule, raiz, e as flores, são popularmente usados para tratar a inflamação da próstata, icterícia, hiperglicemia e lesões, corroborando com estudos que detectaram

vestígios de cumarinas, flavonoides e saponinas na polpa do xique-xique (AGRA et al., 2008; ALBUQUERQUE et al., 2007; LUCENA et al., 2015; MEIADO et al., 2010; ROQUE et al., 2010).

Relatos de Nascimento et al. (2012), citam informações a respeito da utilização do xique-xique pela população local do município de Soledade, localizado no estado da Paraíba, na utilização do cladódio para obtenção de farinha, assim como as famílias locais de Bebedouro e Oitica que fazem coletas dos frutos do xique-xique devido ao seu sabor palatável, em comparação aos demais frutos encontrados em época de seca (CHAVES; BARROS, 2015). Em períodos de seca, nas regiões do nordeste brasileiro o xique-xique é utilizado como recurso na alimentação animal, entretanto, apesar de ser uma fonte estratégica nessas regiões, o conhecimento a respeito desta cactácea é escasso, necessitando-se um maior aprofundamento a respeito de seu valor nutritivo (SILVA et al., 2005). Dessa forma, Monteiro et al. (2015), relataram em seus estudos, que o xique-xique possibilita fornecer a população do semiárido nordestino, condições de subsistência, por ser utilizado como um importante recurso natural.

2.5 QUALIDADE NUTRICIONAL E ALTERNATIVA ALIMENTAR DE CACTÁCEAS

Ainda há uma deficiência de pesquisas que garantam a segurança alimentar e nutricional, acerca da utilização de espécies de cactáceas, pela população da região do Semiárido Nordeste. Em grande parte, os estudos estão relacionados ao gênero *Opuntia*, que segundo Morales et al. (2012) e Osorio-Esquivel et al. (2011), esse gênero ocorre em maior abrangência em diversas regiões da América Latina, com destaque na culinária Mexicana, na elaboração de doces, sucos e geleias. Ramírez-Moreno et al. (2011) citam diversos trabalhos que apresentaram a importância e composição nutricional acerca deste gênero, como conteúdo de açúcares solúveis, fibras dietéticas, presença de vitaminas como ácido ascórbico e carotenoides, polifenóis e betacianinas, além de serem uma boa fonte de minerais, em especial, cálcio e potássio, os quais poderiam ser utilizados por populações que apresentem deficiência destes minerais em sua dieta.

Algumas pesquisas vêm sendo elaboradas, na tentativa de dar suporte acerca do potencial agroindustrial e funcional, dos compostos nutricionais presentes em diversas espécies de frutos e plantas, encontradas na região do Semiárido Nordeste. Nascimento et al. (2011), ao determinarem o perfil químico e de compostos bioativos em algumas espécies, entre elas o coco-católé, a batinga e a quixaba, revelaram que tais frutos, apresentaram um

elevado potencial funcional, o qual, poderia ser utilizados pela população destas regiões, encontrando suporte científico para o beneficiamento destas espécies na elaboração de novos produtos. Tais pesquisadores citam levantamentos realizados acerca do conhecimento da população local sobre o uso de cactáceas, na região da Caatinga, apontando que muitas espécies nativas são utilizadas como alimento pela população, entretanto, esse conhecimento é predominantemente maior acerca dos frutos. Desta forma, algumas plantas que podem ser utilizadas na alimentação humana e animal são subutilizadas devido ao desconhecimento de suas características, favorecendo a importância de estudos a respeito da composição química e nutricional destas espécies.

Cactáceas são utilizadas na Região Nordeste para diversos fins. Na utilização culinária ainda é considerada de baixo valor por ser empregada em condições de escassez, diferentemente de algumas regiões do México, onde já se apresenta como um recurso alimentar valioso. Entretanto, pesquisas apontam as cactáceas como um recurso alimentar e nutricional, preconizando sua utilização na elaboração de novos produtos (CHAVES; BARROS, 2015; LUCENA et al., 2013, 2015; NASCIMENTO et al., 2012; SILVA, 2015).

Nesse sentido, se faz necessário a investigação e disseminação acerca das características do perfil químico, nutricional e bioativo dos cladódios do xique-xique. Por ser uma espécie subutilizada, de uso tradicional e encontrada abundantemente no semiárido nordestino, as quais poderiam fornecer subsídios à população e pequenos agricultores da região, auxiliando o aproveitamento e valorização desta espécie.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATÉRIA-PRIMA

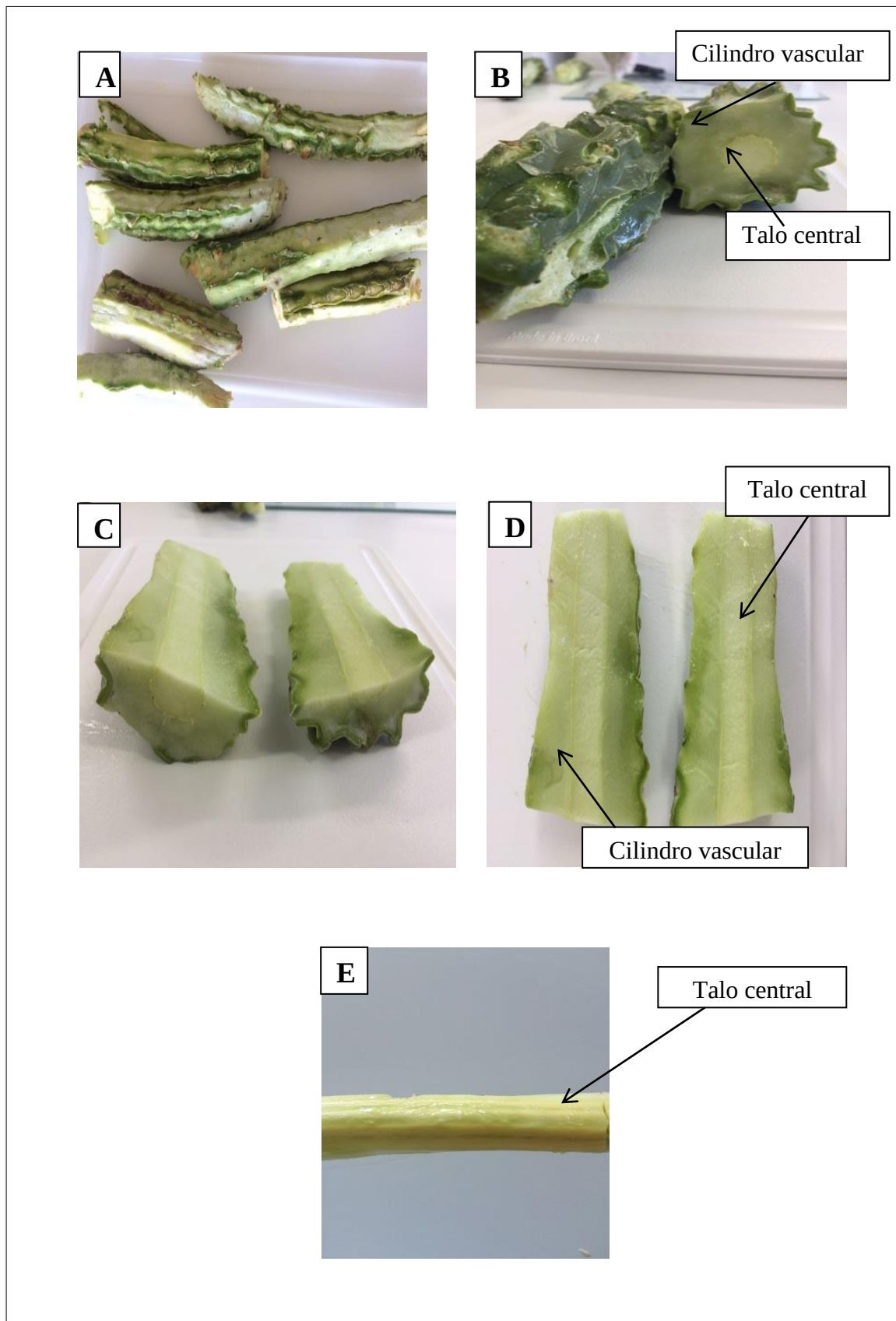
A coleta dos cladódios de xique-xique, foi realizada, em uma área de cultivo particular, localizada no município de Boa Vista, no estado da Paraíba, Brasil, com coordenadas de Latitude: -7.16762352/ Longitude: -36.1432815, em três lotes, no período de abril de 2016. A planta foi identificada pelo Profº. Drº. Leonardo Person Felix do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba - (CCA/UFPB) e a espécie certificada (17.562) foi depositada no Herbário Profº. Jaime Coelho Morais (CCA/UFPB). Os cladódios foram selecionados considerando sua integridade física, os quais foram removidos os espinhos no momento da coleta, sendo os mesmos transportados em caixas de poliestireno, sob refrigeração à temperatura de $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,0$.

3.2 AMOSTRAGEM E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os cladódios de xique-xique foram lavados em água corrente e sanitizados com imersão em água clorada 10 ppm por 15 minutos, e posterior enxágue. Os cladódios, foram cortados com facas de dimensões 5 x 5 cm e divididos em 3 grupos experimentais, classificados como: cilindro vascular, talo central e cilindro vascular + talo central, conforme ilustrado na Figura 1. As amostras dos grupos experimentais de xique-xique foram trituradas, com processador (Marca Oster/Modelo 2619 - 057) e armazenadas sob congelamento ($-20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,0$), para posterior análises.

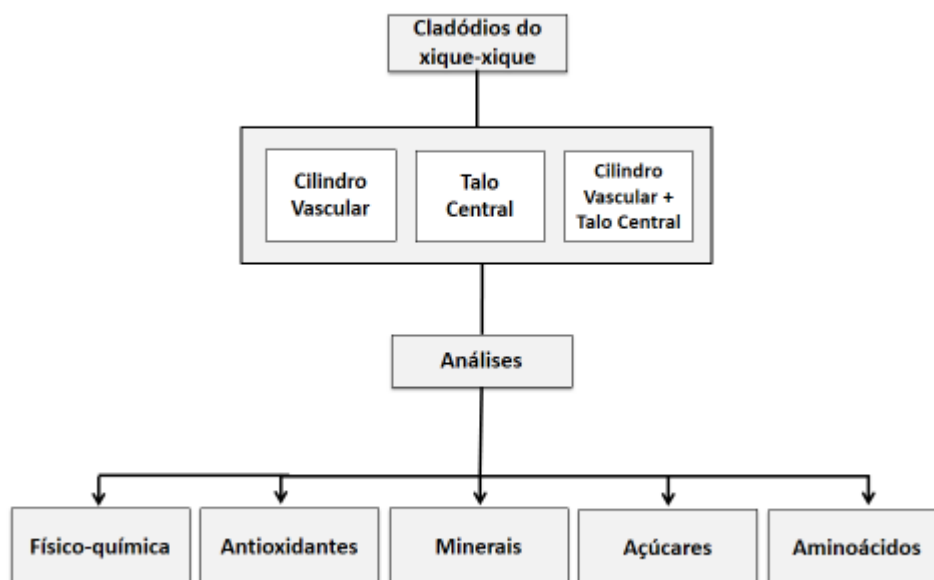
Na determinação das análises de minerais, fibras, açúcares e aminoácidos, as amostras de xique-xique foram secas por liofilização em LIOBRAS® L101, onde permaneceram em processo de secagem por 12 horas, em temperatura de condensador média de $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,0$, a vácuo, até obtenção das amostras livres de umidade aparente. Em seguida, foram embalados em tubos Falcon de 10 mL e transportados ao Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL/Campinas-SP) para determinação das análises.

Figura 2 – Cladódio e estruturas do xique-xique



A: Cladódios do xique-xique sem espinhos; B: corte transversal e exposição do cilindro vascular e talo central; C e D: corte longitudinal e exposição do cilindro vascular e talo central; E: Talo central do xique-xique, após remoção do cilindro vascular.

Figura 3 – Fluxograma do delineamento experimental



3.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL

Com a finalidade de caracterizar o xique-xique, foram realizadas avaliações físicas e físico-químicas, de cada grupo experimental, em triplicata, avaliando-se as variáveis atividade de água, pH, acidez, sólidos solúveis, umidade, proteínas, gorduras e cinzas conforme metodologia a seguir:

- Atividade de água (Aa): determinada a uma temperatura de 25 °C (± 4 °C) utilizando-se o equipamento AquaLab[®], CX-2, seguindo metodologia descrita em seu manual (AQUALAB, 2001);
- pH: realizada em potenciômetro digital (Quimis[®], Q 400, Diadema, São Paulo, Brasil);
- Sólidos solúveis (°Brix) refratômetro digital (Hanna[®], HI 96801);
- Acidez total titulável: baseada na neutralização da amostra com solução padrão de NaOH 0,1 N determinada por titulometria;
- Umidade: utilizando secagem em estufa a 105 °C, método descrito pela AOAC (2012);

- Proteínas: pelo método Kjeldhal utilizando o fator 5,75 recomendado para proteínas de vegetais, como descrito pela AOAC (2012);
- Lipídios: de acordo com técnica descrita por Folch, Less e Stoane-Stanley (1957) – com extração em solução de clorofórmio-metanol (2:1);
- Cinzas: obtidas com a incineração em mufla a 550 °C até peso constante, método descrito pela AOAC (2012);

As análises foram realizadas no laboratório de Bromatologia, pertencente ao Departamento de Nutrição, do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Paraíba, DN/CCS/UFPB, *Campus I* - João Pessoa.

3.4 DETERMINAÇÃO DE FIBRAS E AÇÚCARES

Para determinação de fibra total, solúvel e insolúvel seguiu-se a metodologia descrita pela AOAC (2012). Na determinação de açúcares foi empregada a metodologia descrita por Burgner; Feinberg (1992). As amostras foram pesadas e adicionadas a uma mistura etanol padrão HPLC: água ultra pura (1:1) sob agitação orbital por 2 horas. Em seguida, foi utilizada a solução de ferrocianeto de potássio e de acetato de zinco, com posterior agitação e repouso por 60 min para limpeza eficiente da amostra.

Para a quantificação de açúcares foi realizada a quantificação segundo a metodologia de SLUITER et al. (2008). Onde 300 mg de amostra foram hidrolisadas com 3 mL ácido sulfúrico diluído 72% (m/v) em um banho de 30° C por 60 min onde as mostras eram agitadas de 5 em 5 min. Após esses 60 min, foi adicionado 84 mL de água destilada e a hidrólise foi finalizada na autoclave por mais 60 min. As amostras foram filtradas utilizando uma bomba a vácuo. E o líquido foi analisado, no cromatografo Dionex-DX500 utilizando uma coluna CarboPac PA1 (500 mm x 50mm) e uma pré-coluna (4 mm x 50mm). As fases móveis utilizadas foram A NaOH (50 mMol) e B (NaOAc 500mMol + NaOH 50mMol).

3.5 PERFIL MINERAL

Para as análises de minerais (Cálcio, Ferro, Fósforo, Magnésio, Manganês, Selênio, Sódio, Potássio e Zinco) foi utilizado um método de ensaio baseado em AOAC (2012).

A digestão ácida assistida por micro-ondas foi empregada como método de preparo de amostras, sendo pesados 0,5 g de amostra em tubos de teflon para digestão, adicionados 7 mL de ácido nítrico purificado por destilação *sub-boiling* (Distillacid[®], Berghof, Eningen,

Alemanha) e 1 mL de peróxido de hidrogênio 30% (Merck®, Darmstadt, Alemanha). O programa de digestão utilizou temperatura máxima de 170 °C por 37 minutos, sendo o conteúdo dos tubos transferido com água purificada por osmose reversa (Gehaka®, São Paulo, Brasil) para balão de 25 mL. As análises foram realizadas em triplicata e brancos analíticos foram preparados seguindo o mesmo procedimento, omitindo-se a amostra.

A determinação dos minerais foi realizada em um espectrômetro de emissão atômica com plasma com acoplamento indutivo (ICP OES 5100 VDV, Agilent Technologies, Tóquio, Japão). As condições de análise foram: potência de radiofrequência (1,2 kW); vazão do plasma (12 L min⁻¹); vazão de fluxo auxiliar (1,0 L min⁻¹); vazão de nebulização (0,7 L min⁻¹); visão do plasma (axial para Fe, Mn, Se e Zn; radial para Ca, Mg, P, Na); comprimentos de onda: Ca (317,933 nm), Fe (259,940 nm), Mg (279,553 nm), Mn (257,610 nm), P (213,618 nm), Na (589,592 nm), Se (196,026 nm), Zn (206,200 nm).

3.6 PERFIL DE AMINOÁCIDOS

O perfil de aminoácidos dos grupos estruturais do xique-xique foram determinados numa RP-HPLC com um detector de UV a 254 nm (Shimadzu Corporation, Tóquio, Japão), equipado com uma coluna Luna / Phenomenex C18 (4,6 mm x 250 mm; partícula de 5 µm) (Phenomenex, Torrance, CA, EUA). Os aminoácidos foram identificados e quantificados usando um padrão externo (Pierce / PN 20088), conforme descrito por Hagen, Geada & Augustin (1989) e White, Hart & Fry (1986). O triptofano foi determinado separadamente de acordo com Spies (1967).

3.7 FATORES ANTINUTRICIONAIS, COMPOSTOS FENÓLICOS, ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E BIOACESSIBILIDADE

A partir dos resultados de composição nutricional e caracterização física, o grupo do cilindro vascular do xique-xique foi selecionado, uma vez que possui características favoráveis para a utilização do mesmo na elaboração de produtos, como doces e geleias. Dessa forma, análises adicionais visando valorização de seus compostos de possível atividade benéfica aos seus consumidores foram realizadas. São elas: determinação de fatores antinutricionais, atividade antioxidante, perfil de fenólicos e a bioacessibilidade.

3.7.1 DETERMINAÇÃO DE FATORES ANTINUTRICIONAIS

Na determinação de taninos totais, seguiu-se o método descrito pela AOAC (2016). O teor de ácido fítico foi analisado de acordo com Latta e Eskin (1980) e na análise para determinação do inibidor de tripsina, utilizou-se Rackis (1974).

3.7.2 DETERMINAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS DO XIQUE-XIQUE

3.7.2.1 Método de extração do cilindro vascular do xique-xique

Para extração do cilindro vascular do xique-xique, foram utilizados 1g da amostra, com adição de 25 mL de água, extraídos em ultrassom por 1h e centrifugado por 15 min.

3.7.2.2 Fenólicos totais

O conteúdo total de fenólicos foi quantificado usando o método espectrofotométrico com o reativo de Folin-Ciocalteu modificado (SINGLETON; ROSSI, 1965). O cilindro vascular do xique-xique (100µL), foi misturado com 2 mL de água em um balão volumétrico de 10 ml. Na sequência, adicionou-se 0,5 mL do reagente de Folin-Ciocalteu. Após 5 minutos de reação, foi adicionado 1,5 ml de solução de Na_2CO_3 (20 g/100 mL) completando volume do balão com água destilada. Após 120 minutos de incubação à temperatura ambiente, verificou-se a absorbância da solução a 765 nm utilizando espectrofotômetro Cary 60 (Agilent Technologies, Malásia). O conteúdo total de fenólicos foi expresso em mg equivalentes de ácido gálico/g da polpa (cilindro vascular).

3.7.2.3 Perfil de compostos fenólicos

A identificação dos compostos fenólicos foi realizada segundo a metodologia validada por Padilha et al. (2017), com adaptações no gradiente e tempo de execução para quantificação de estilbenos, flavonóis e flavanonas, utilizando um cromatógrafo líquido Agilent 1260 Infinity LC System (Agilent Technologies, Santa Clara - USA) acoplado a diode arrangement detector (DAD) (model G1315D). Os dados foram processados usando o software OpenLAB CDS ChemStation Edition (Agilent Technologies, Santa Clara - EUA). A coluna usada foi Zorbax Eclipse Plus RP-C18 (100 × 4.6 mm, 3.5 µm) e a pré-coluna Zorbax C18 (12.6 × 4.6 mm, 5 µm) (Zorbax, USA). A temperatura foi de 35 °C e o volume de injeção

foi de 20 µL da amostra, previamente diluída na fase A, e filtrada através de membrana de 0,45 µm (Millex Millipore, Barueri, SP, Brasil). O fluxo do solvente foi de 0,8 mL/min. O novo gradiente utilizado na separação foi de 0 a 5 min: 5% B; 5-14 min: 23% B; 14-30 min: 50% B; 30-33 min: 80% B, em que o solvente A foi uma solução de ácido fosfórico (0,1 M, pH = 2,0) e o solvente B foi acidificado com metanol com 0,5% de H₃PO₄. A detecção dos compostos foi realizada a 220, 280, 320, 360 e 520 nm, e a identificação e quantificação por comparação com padrões externos.

3.7.3 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

3.7.3.1 Desativação de radicais DPPH• (2,2-difenil-1picrilhidrazila)

A atividade antioxidante foi determinada pela capacidade de desativar o radical DPPH•, segundo do método de Brand-Williams, Cuvelier; Berset (1995) com adaptações. Uma solução de DPPH 0,06 mmol/L em metanol p.a. foi preparada e armazenada em vidro ambar a 20°C até o uso. Uma alíquota de 2,9 mL desta solução foi misturada com 100 µL da polpa (cilindro vascular) do xique-xique e incubada à temperatura ambiente durante 30 minutos no escuro. Após verificou a absorbância da solução em 515 nm, utilizando espectrofotômetro Cary 60 (Agilent Technologies, Malásia). Uma curva padrão de Trolox (0-100-200-300-400-500-620,5 µM) foi preparada. Os resultados foram expressos em µM Trolox/100 g de polpa (cilindro vascular), determinados a partir de uma curva padrão de Trolox.

3.7.3.2 Poder redutor do ferro (Fe⁺²) (FRAP)

O potencial antioxidante pelo método FRAP foi realizado utilizando a metodologia descrito por Rufino et al. (2006). A polpa (cilindro vascular), de xique-xique (90 µL) e 270 µL de água destilada foram misturados a 2,7 mL de reagente FRAP. O reagente FRAP foi preparado em solução tampão acetato 0,3 mol/L (pH 3,6), TPTZ (2,4,6-tris (2-pyridyl)-s-triazine) 10 mmol/L em uma solução de HCl 40 mol/L e FeCl₃ 20 mmol). Posteriormente foram misturados num tubo e incubados durante 30 min em banho-maria a 37°C. A absorbância (595 nm) foi medida usando o espectrofotômetro Cary 60 (Agilent Technologies, Malásia). A curva padrão foi realizada com Trolox e os resultados expressos em µM Trolox/100 mL de polpa.

3.7.4 BIOACESSIBILIDADE DOS COMPOSTOS FENÓLICOS

O procedimento de digestão *in vitro* que simulou as condições gastrointestinais fisiológicas foi avaliado em três fases sequenciais: oral, gástrica e intestinal, conforme descrito por Dutra et al. (2017). Alíquotas do cilindro vascular do xique-xique (50 mL) foram misturadas com 5 mL de soluções salinas (2,38 g de Na₂HPO₄, 0,19 g de KH₂PO₄, 8 g de NaCl e 200 U/L de α -amilase) em frascos âmbar e a mistura foi agitada durante 10 min em banho-maria a 37 ± 2 °C a 95 rpm, para simulação da fase oral. Em seguida, foi adicionado 1 mg de pepsina e acidificou-se o sistema até pH 2,0 com HCl 0,1 mol/L, incubadas a 37°C com agitação a 95 rpm por 1 h para simulação da fase gástrica. Após, a mistura foi imediatamente resfriada. A fração oriunda da fase gástrica foi submetida a condições da fase intestinal. Segmentos de membrana de diálise de celulose (corte de peso molecular de 12000 Da) foram cortados a 60 cm de comprimento e preenchidos com 15 mL de NaHCO₃ (0,5 mol/L). As membranas foram completamente imersas em um tubo, até atingir um pH de 5,0. Em seguida, 5 mL de pancreatina (0,12 g) e sais biliares (40 mg de glicodexicolato em 1 mL de solução salina), taurodesoxicolato (25 mg em 1 mL de solução salina) e taurocolato (40 mg em 1 mL de solução salina) foi adicionado ao tubo. As amostras foram incubadas num agitador (95 rpm) a 37°C durante 2 h para completar a fase intestinal. No passo final, a membrana de diálise foi removida e enxaguada com água destilada. As fases *in* (dialisada) e *out* (não digerida) foram analisadas. A bioacessibilidade foi expressa como porcentagem e foi determinada de acordo com a Equação 1:

$$\text{Bioacessibilidade (\%)} = (\text{BC dialisada} / \text{BC dialisada} + \text{BC não digerida}) \times 100 \quad \text{Eq.1}$$

Onde BC dialisada corresponde à concentração de compostos fenólicos livres na porção dialisada e BC não digerida é a concentração de compostos fenólicos livres no cilindro vascular do xique-xique.

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados pela análise de variância (ANOVA) e as diferenças entre os grupos utilizando-se o teste de média Tukey para comparação de médias ao nível de 5% de significância, utilizando-se o pacote Assistat (2016), (*Statistical Assistance* - versão 7.7 beta).

REFERÊNCIAS

- AGRA, M. F.; SILVA, K. N.; BASÍLIO, I. J. L. D.; FREITAS, P. F.; BARBOSA-FILHO, J.M. Survey of medicinal plants used in the region Northeast of Brazil. **Brazilian Journal of Pharmacology**, v. 18, n. 3, p. 472-508, 2008.
- ALBUQUERQUE, U. P.; MEDEIROS, M. P.; DE ALMEIDA, A. L.; MONTEIRO, J. M.; MACHADO DE FREITAS, E. L. N.; GOMES DE MELO, J.; DOS SANTOS, J. P. Medicinal plants of the caatinga (semi-arid) vegetation of NE Brazil: a quantitative approach. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 114, n. 3, p. 325-354, 2007.
- ALMEIDA, C. F. C. B.R.; AMORIM, E. L. C.; ALBUQUERQUE, U. P.; MAIA, M. B. Medicinal plants popularly used in the Xingó region – a semi-arid location in Northeastern Brazil. **Journal of Etnobiology and Ethnomedicine**, v. 2, n. 15, 2006.
- ALMEIDA, C. A.; FIGUEIREDO, R. M. S.; QUEIROZ, A. J. M.; OLIVEIRA, F. M. N. Características físicas e químicas da polpa do xique-xique. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 4, p. 440-443, 2007.
- ANDRADE, C. T. S.; MARQUES, J. G. W.; ZAPPI, D. C. Utilização medicinal de cactáceas por sertanejos baianos. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 8, n. 3, p. 36-42, 2006.
- AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**. 19 th ed, Washington D.C USA, 2012.
- BAJPAI, P. K.; WARGHAT, A. R.; SHARMA, R. K.; YADAV, A.; THAKUR, A. K.; SRIVASTAVA, R. B.; STOB DAN, T. Structure and genetic diversity of natural populations of *Morus alba* in the Trans-Himalayan Ladakh Region. **Biochemical Genetics**, v. 52, s/n, p. 137-152, 2014.
- BARBOSA, H. P. **Tabela de composição de alimentos do Estado da Paraíba: setor agropecuário**, 2. ed. João Pessoa: UFPB, 1998. 221 p.
- BASU, S.; SHIVHARE, U. S. Rheological, textural, micro-structural and sensory properties of mango jam. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 100, n. 2, p. 357-365, 2010.
- BARREIRA, T. F.; PAULA FILHO, P. G. X.; RODRIGUES, V. C. C.; ANDRADE, F. M.C. SANTOS, R. H.S.; PRIORE, S. E.; PINHEIRO-SANT'ANA, H.M. **Diversidade e equitabilidade de Plantas Alimentícias Não Convencionais na zona rural de Viçosa, Minas Gerais, Brasil**, Revista Brasileira de Plantas Medicinais, v.17, n.4, p.964-974, 2015.
- BATISTA, A. M.; MUSTAFA, A. F.; MCALLISTER, T.; WANG, Y.; SOITA, H.; MCKINNON, J. Effects of variety on chemical composition, *in situ* nutrient disappearance and *in vitro* gas production of spineless cacti. **Journal of the Science of Food Agriculture**, v. 83, n. 5, p. 440-445, 2003.

BHATT, I. D.; RAWAT, S.; BADHANI, A.; RAWAL, R. S. Nutraceutical potential of selected wild edible fruits of the Indian Himalayan region. **Food Chemistry**, v. 215, s/n, p.84-91, 2017.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente: **Bioma Caatinga**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>>. Acesso em: 25 nov 2016.

BURGNER, E.; FEINBERG, M. Determination of mono - and disaccharides in foods by interlaboratory study: Quantitation of Bias components for liquid chromatography. **Journal of AOAC International**, v. 75, n. 3, p. 443-464, 1992.

CHANDRA, K. S.; DIMPLE, G.; GAUTAM, K. H.; HANDIQUE, A. K. Nutritive values of some non-conventional leafy vegetables and scarcity food plants of north east India. **African Journal of Food Science**. v. 10, n. 11, p. 340-343, 2016.

CHAVES, E. M. F.; BARROS, R. F. M. Cactáceas: Recurso alimentar emergencial no semiárido, Nordeste do Brasil. **Gaia Scientia**, v. 9, n. 2, p. 129-135, 2015.

CHAVES, E. M. F.; ALBUQUERQUE, U.; BARROS, R. F. M. Práticas nutricionais populares com uso de *Pilosocereus gounellei* (F.A.C. Weber ex K. Schum.) Byles & G.D. Rowley no Piauí, Nordeste do Brasil. **Magistra**, v. 25, s/n, p. 2108-2112, 2014.

DAVET, A.; VIRTUOSO, S.; DIAS, J. F. G.; MIGUEL, M. D.; OLIVEIRA, A. B.; MIGUEL, O. G. Atividade antibacteriana de *Cereus jamacaru* DC, Cactaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 19, n. 2, p. 561-564, 2009.

DUTRA, L. R. T.; DANTAS, A. M.; MARQUES, D. A.; BATISTA, J. D. F.; MEIRELES, B. R. L. A.; CORDEIRO, A. M. T. M.; MAGNANI, M.; BORGES, G. S. C. Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in frozen pulps of Brazilian exotic fruits exposed to simulated gastrointestinal conditions. **Food Research International**, n. 100, p. 650-657, 2017.

DRUMOND, M. A.; KILL, L. H. P.; LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, M. C.; OLIVEIRA, V. R.; ALBUQUERQUE, S. G.; NASCIMENTO, C. E. S.; CAVALCANTI, J. Estratégias para o Uso Sustentável da Biodiversidade da Caatinga. **Documento para discussão no GT Estratégias para o Uso Sustentável**. Petrolina, 2000.

ESQUINAS-ALCAZAR, J. Science and society: Protecting crop genetic diversity for food security: political, ethical and technical challenges. **Nature Review Genetics**, v. 6, n. 12, p. 946-953, 2005.

FOLCH, J.; LEES, M.; SLOANE-STANLEY, G. H: A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **Journal of Biological Chemistry**, v. 226, n. 1, p. 497-509, 1957.

GUEVARA-FIGUEROA, T.; JIMÉNEZ-ISLAS, H.; REYES-ESCOGIDO, A. L.; MORTENSEN, A. G.; LAURSEN, B. B.; LIN, L-W.; LÉON-RODRÍGUEZ.; FOMSGAARD, I. S.; DE LA ROSA, A. B. Proximate composition, phenolic acids, and

flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, n.6, p. 525-532, 2010.

HAGEN, S. R.; FROST, B.; AUGUSTIN, J. Precolumn phenylisothiocyanate derivatization and liquid chromatography of aminoacids in food. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 72, n.6, p. 912-916, 1989.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2004). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. Acesso em: 06 dez 2016.

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. Plantas Alimentícias Não-Convencionais (PANC) no Brasil: Guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. **Instituto Platarum de Estudos da Flora**, 2014.

KINUPP, V.F. **Plantas alimentícias não-convencionais da região metropolitana de Porto Alegre, RS**. 2007. 590f. Tese (Doutorado - Área de concentração em Fitotecnia) – Departamento de Horticultura e Silvicultura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

KING, L.; HEBDEN, L.; GRUNSEIT, A.; KELLY, B.; CHAPMAN, K.; VENUGOPAL, K. Industry self regulation of television food advertising: Responsible or responsive?. **International journal of pediatric obesity**, v.6, n.2, p.390-98, 2011.

LATTA, M.; ESKIN, M. A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 28, n. 6, p. 1313 -1315, 1980.

LUCENA, C. M.; CARVALHO, T. K. N.; RIBEIRO, J. E. S.; QUIRINO, Z. G. M.; CASAS, A.; LUCENA, R. F. P. Conhecimento botânico tradicional sobre cactáceas no semiárido do Brasil. **Gaia Scientia**, v. 9, n. 2, p. 77-90, 2015.

LUCENA, C. M.; LUCENA, R. F. P.; COSTA, G. M.; CARVALHO, T. K. N.; COSTA, G. G. S.; ALVES, R. R. N.; PEREIRA, D. D.; RIBEIRO, J. E. S.; ALVES, C. A. B.; QUIRINO, Z. G. M.; NUNES, E. N. Use and knowledge of Cactaceae in Northeastern Brazil. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 9, s/n, p. 1-11, 2013.

LUCENA, C. M.; COSTA, G. M.; SOUSA, R. F.; CARVALHO, T. K. N.; MARREIROS, N. A.; ALVES, C. A. B.; PEREIRA, D. D.; LUCENA, R. F. P. Conhecimento local sobre cactáceas em comunidades rurais na mesorregião do sertão da Paraíba (Nordeste, Brasil). **Biotemas**, v. 25, n. 3, p. 281-291, 2012.

LUCENA, R.F.P.; ARAÚJO, E.L.; ALBUQUERQUE, U.P. Does the local availability of woody Caatinga plants (Northeastern Brazil) explain their use value. **Economic Botany**, v. 61, n. 4, p. 347–361, 2007.

LUIZZA, M.W.; YOUNG, H.; KUROIWA, C.; EVANGELISTA, P.; WOREDE, A.; BUSSMANN, R. W.; WEIMER, A. Local Knowledge of Plants and their uses among Women in the Bale Mountains, Ethiopia. **Ethnobotany Research & Applications**, v.11, n.1, p.315-39, 2013.

MACIEL, J. K. S., CHAVES, O. S., BRITO FILHO, S.G., TELES, Y. C. F., FERNANDES, M. G., ASSIS, T. S., FERNANDES, P. D., ANDRADE, A. P., FELIX, L. P., SILVA, T. M. S., RAMOS, N. S. M., SILVA, G. R., SOUZA, M. F. V. New Alcamide ant Anti-oxidant Activity of *Pilosocereus gounellei* A. Weber ex K. Schum. Bly. Ex Rowl. (Cactaceas). **Molecules**, v. 21, n. 1, 2016.

MARTINS, L.S.T. Germinação de sementes de *Pilosocereus arrabidaei* (Lem.) Byl. & Row (Cactaceae) de Arraial do Cabo. **Research Institute Botanical Garden**, Rio de Janeiro, Brazil, 2007.

MCCONN, M. M., NAKATA, P. A., Oxalate reduces calcium availability in the pads of the prickly pear cactus through formation of calcium oxalate crystals. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 5, p. 1371–1374, 2004.

MEIADO, M. V.; ALBUQUERQUE, L. S. C.; ROCHA, E. A.; ROJAS-ARÉCHIGA, M.; LEAL, I. R. Seed germination responses of *Cereus jamacaru* DC. ssp. *jamacaru* (Cactaceae) to environmental factors. **Plant Species Biology**, v. 25, n. 2, p. 120-128, 2010.

MISHRA, P. K.; RAM, R. B.; KUMAR, N. Genetic variability, heritability, and genetic advance in strawberry (*Fragaria _ ananassa* Duch.). **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 39, s/n, p. 451-458, 2015.

MONTEIRO, E. R.; MANGOLIN, C. A.; NEVES, A. F.; ORASMO, G. R.; SILVA, J. G. M.; MACHADO, M. F. P. S. Genetic structure of *Pilosocereus gounellei* (Cactaceae) as revealed by AFLP marker tp guide proposals for improvement and restoration of degraded areas in Caatinga biome. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 4, p. 16966-16974, 2015.

MONTEIRO, J. M.; ALBUQUERQUE, U. P.; LINS-NETO, E. M. F.; ARAÚJO, E. L.; AMORIM, E. L. C. Use patterns and Knowledge of medicinal species among two rural communities in Brazil's semi-arid northeastern region. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 105, n.1-2, p. 173-186, 2006.

MORALES, P.; RAMÍREZ-MORENO, E.; SANCHEZ-MATA, M. C.; CARVALHO, A. M.; FERREIRA, I. C. F. R. Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars (*Opuntia joconostle* F.A.C.Weber ex Diguët and *Opuntia matudae* Scheinvar) of high consumption in Mexico. **Food Research International**, v.46, s/n, p. 279-285, 2012.

NASCIMENTO, V. T.; LUCENA, R. F.; MACIEL, M. I.; ALBUQUERQUE, U. P. Knowledge and use of wild food plants in areas of dry seasonal forests in Brazil. **Ecology of Food and Nutrition**, v. 52, n. 4, p. 317-343, 2013.

NASCIMENTO, V. T.; VASCONCELOS, M. A. S.; MACIEL, M. I. S.; ALBUQUERQUE, U. P. Famine foods of Brazil's seasonal dry forests: Ethnobotanical and Nutritional Aspects. **Economic Botany**, v. 66, n.1, p. 22-34, 2012.

NASCIMENTO, V. T.; MOURA, N. P.; VASCONCELOS, M. A.; MACIEL, M. I. S.; ALBUQUERQUE, U. O. Chemical characterization of native wild plants of dry seasonal forests of the semi-arid region of northeastern Brazil. **Food Research International**, v. 44, n. 7 , p. 2112-2119, 2011.

NECCHI, R. M. M.; ALVES, I. A.; ALVES, S. H.; MANFRON, M. P. In vitro antimicrobial activity, total polyphenols and flavonoids contents of *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck (Cactaceae). **Journal of Research Pharmacy**, v. 2, n. 3, p. 1-7, 2012.

NUNES, A. T.; LUCENA, R. F. P.; SANTOS, M. V. F.; ALBUQUERQUE, U. P. Local knowledge about fodder plants in the semi-arid region of Northeastern Brazil. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v.11, s/n, p. 1-12, 2015.

OLIVEIRA, F. C. S.; BARROS, R. F. M.; MOITA NETO, J. M. Plantas medicinais utilizadas em comunidades rurais de Oeiras, semiárido piauiense. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 12, n. 3, p. 288-301, 2010.

OSORIO-ESQUIVEL, O.; ALICIA-ORTIZ-MORENO, A.; ÁLVAREZ, V. B.; DORANTES-ÁLVAREZ, L.; GIUSTI, M. M. Phenolics, betacyanins and antioxidant activity in *Opuntia joconostle* fruits. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2160–2168, 2011.

PADILHA, C. V. S.; MISKINIS, G. A.; SOUZA, M. E. A. O.; PEREIRA, G. E.; OLIVEIRA, D.; BORDIGNON-LUIZ, M. T.; LIMA, M. S. Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. **Food Chemistry**, n. 228, p. 106-115, 2017.

PEREIRA, M. C.; STEFFENS, R. S.; JABLONSKI, A.; HERTZ, P. F.; RIOS, A. O.; VIZZOTTO, M.; FLÔRES, S. H. Characterization, bioactive compounds and antioxidant potential of three Brazilian fruits. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 29, s/n, p.19-24, 2013.

PINTO, N. C. C.; SCIO, E. The biological activities and chemical composition of *Pereskia* species (Cactaceae) - a review. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 69, n. 3, p. 189-195, 2014.

QUEIROZ, L. P.; RAPINI, A.; GIULIETTI, A. M. Rumo ao amplo conhecimento da biodiversidade do semi-árido Brasileiro. **Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia**, 2006. Disponível em: < http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/978/1/10974-Rumo_ao_amplo_conhecimento_da_biodiversidade_do_semi-arido_brasileiro%20%281%29.pdf>. Acesso em: 15 dez 2016.

RACKIS, J. J.; MC GHEE, J. E.; KAKADE, M.; PUSKI, G. Problems encountered in measured trypsin inhibitor activity of soy flour. Report of a collaborative analysis. **Cereal Science Today**, n. 19, v. 11, p. 513-515, 1974.

RAMÍREZ-MORENO, E.; DÍEZ MARQUÉS, C.; SÁNCHEZ-MATA, M. C.; GOÑI, I. In vitro calcium bioaccessibility in raw and cooked cladodes of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica* L. Miller). **Food Science and Technology**, v. 44, s/n, p. 1611- 1615, 2011.

RIBEIRO, E. M. S.; MEIADO, M. V.; LEAL, I. R. The role of clonal and sexual spread in cacti species dominance at the Brazilian Caatinga. **Gaia Scientia**, v. 9, n. 2, p. 27-33, 2015.

ROCHA, E. A.; AGRA, M. F. Flora do pico do Jabre, Paraíba, Brasil: *Cactaceae juss.* **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 1, p. 15-21, 2002.

ROQUE, A. A.; ROCHA, R. M.; LOIOLA, M. I. B. Uso e diversidade de plantas medicinais da Caatinga na comunidade rural de Laginhas, município de Caicó, Rio Grande do Norte (nordeste do Brasil). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 12, n. 1, p. 31-42, 2010.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PEREZ-JIMENEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Comunicado técnico online. **Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pelo Método de Redução do Ferro (FRAP)**. ISSN 1679- 6535, 2006.

SILVA, V. A. Diversidade de uso das cactáceas no Nordeste do Brasil: uma revisão. **Gaia Scientia**, v. 9, n. 2, p. 137-154, 2015.

SILVA, A. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; LIMA, E. E. Avaliação da composição físico-química da coroa de frade. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.5, n.2, p.1-8, 2005.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, s/n, p. 144-158, 1965.

SLUITER, A.; HAMES, B.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J.; TEMPLETON, D.; CROCKER, D. Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass. **Laboratory analytical procedure**, 1617, p. 1-16, 2008.

SPIES, J. R. Determination of tryptophan in proteins. **Analytical Chemistry**, v. 39, n. 12, p.1412 - 1415, 1967.

TAYLOR, N.; SANTOS, M. R.; LAROCCA, J.; ZAPPI, D. Cactaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em:<floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB1562>. Acesso em: 06 dez 2016.

VOGGESESSER, G.; LYNN, K.; DAIGLE, J.; LAKE, F. K.; RANCO, D. Cultural impacts to tribes from climate change influences on forests. **Climatic change**, v.120, n.3, p.615-26, 2013.

WHITE, J. A.; HART, R. J.; FRY, J. C. An evaluation of the Waters Pico-Tag system for the amino-acid analysis of food materials. **The Journal of Automatic Chemistry**, v.8, n.4, p. 170-177, Oct-Dec., 1986.

ZAPPI, D. C. Fitofisionomia da Caatinga associada à cadeia do Espinhaço. **Revista Megadiversidade**, v. 4, n. 1-2, p. 34- 38, 2008.

ZAPPI, D. C. *Pilosocereus* (Cactaceae). The genus in Brazil. **Succulent Plant Research**, v. 3, p. 1-160, 1994.

4 RESULTADOS

4.1 ARTIGO 1

Os resultados do presente estudo estão apresentados na forma de artigo original, o qual será submetido ao periódico de impacto na área de ciência e tecnologia de alimentos, intitulado:

Xique-xique (*Pilosocereus gounellei* A. Weber ex K. Schum. Bly. ex Rowl): The Caatinga cactus as a source of bioactive compounds

Xique-xique (*Pilosocereus gounellei* A. Weber ex K. Schum. Bly. ex Rowl): The Caatinga cactus as a source of bioactive compounds

Abstract

Xique-xique (*Pilosocereus gounellei*) is a cactus found in the Caatinga biome, which is used in folk medicine in treating inflammation and is also used in human and animal food. This study evaluated its nutritional composition and bioactive compounds, as well as its bioaccessibility and antioxidant activity. The experiments using xique-xique cladodes provided three experimental groups called vascular cylinder, central stem, and central vascular cylinder + central stem. Differences between the groups were observed. The xique-xique vascular cylinder presented a source of soluble (14.83 mg/100 g) and insoluble fiber (31.36 mg/100 g) and the highest mineral contents such as Ca (2493.00 mg/100 g), Mg (3123.00 mg/100 g), and Mn (131.90 mg/100 g). The vascular cylinder group also presented phenolic compounds (258.21 mg EAG/100 g), the highest activity for capturing DPPH radicals (14.32 μ M of TEAC/100 g) and ferric reducing ability (47.82 μ M of TEAC/100 g). In the phenolic compounds profile, the catechin and epigallocatechin-gallate were the major compounds, while procyanidin B1 and gallic acid were the most bioaccessible compounds after in vitro gastrointestinal digestion. Consequently, xique-xique is a potential food alternative with nutritional value and bioactive compounds, pointing to possibilities for its use and enrichment in various food products.

Keywords: antioxidants; bioaccessibility; cactaceae; nutritional composition; unconventional food plants

1. Introduction

Brazil has a vast territorial extension made up of different biomes with different climatic characteristics, thus contributing to the biodiversity of plant species exploited for consumption, due to its nutritional properties and health benefits (Pereira et al., 2013).

The Caatinga is an exclusively Brazilian biome located in the semiarid region, being described as a rich complex socio-ecological system, comprising a unique natural and cultural heritage and of world importance (Silva et al. 2017). It covers most of the northeast states and it is considered the third diversity center of Cactaceae species (Ribeiro et al., 2015).

Cacti are considered an unconventional food plant, and constitute a source food for the Brazilian semiarid population destined for their own consumption, in addition to animal forage (Kinupp & Lorenzi, 2014). However, some of these plants are in disuse or are underutilized (Chaves, Morais & Barros, 2017) due to the lack of scientific information on nutritional and biological properties.

One of the features which enables the cactus to develop in semiarid regions is its morphological and physiological adaptation to low rainfall. Its physical structure enables the storage of water during drought periods, in addition to its stature and leaves which evolved into thorns and avoid water loss by evaporation (Lucena et al., 2013).

The cacti species most used for consumption are *Cereus jamacaru* DC. subsp. *Jamacaru* (*Mandacaru*) (Taylor et al., 2015), *Pilosocereus gounellei* (F. A. C.) Byles & G.D. Rowley subsp. *gounellei* (*Xique-xique*) (Taylor et al., 2015), *Pilosocereus pachyclauds* F. Ritter. subsp. *pernambucoensis* (F. Ritter) Zappi (*Facheiro*) (Taylor et al., 2015) and *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (*palma forrageira* or *figo-da-índia*) (Taylor et al., 2015) (Silva et al., 2015).

Studies have recently demonstrated this family's potential for medical and nutritional purposes because of the significant presence of vitamins, such as ascorbic acid and

carotenoids, polyphenols and betacyanins, in addition to being a source of minerals, especially calcium, potassium, and magnesium, all of which can be administered/used in various food products for populations which exhibit (or not) a deficiency of these minerals in their diets (Macconn et al., 2004; Ramírez-Moreno et al., 2011).

Pilosocereus gounellei, popularly known as xique-xique, is a cactus that grows in the Brazilian semiarid region and multiplies regularly, covering extensive areas of the Caatinga (Lucena et al., 2015). Its structure presents an erect stem, hazy green color, and its branches are separated from each other which shapes curved sides, broad and soft in the direction of the ground, and armed with sharp spines (Almeida et al., 2007).

For human consumption, the cladodes (which are modified stems) are usually eaten peeled, fresh or cooked for use in the production of cakes, sweets, biscuits and flours, and their fruits are collected and appreciated due to their smooth taste, being consumed *in natura* by the local population (Lucena et al., 2013; Nascimento et al., 2012; Keys & Barros, 2015).

In Brazilian folk medicine, the cladodes are used to treat prostate gland inflammation, jaundice, hyperglycemia and injuries (Dias et al., 2015), corroborating studies which have verified the presence of phytochemicals such as coumarin, flavonoids, saponins, pinostrobin, β -sitosterol, β -sitosterol, stigmasterol, kaempferol, and quercetin in their pulp (Agra et al., 2008; Albuquerque et al., 2007; Lucena et al., 2015; Maciel et al., 2016; Meiado et al., 2010; Roque et al., 2010).

Thus, the present work aimed to evaluate the nutritional composition, sugar profile, amino acid profile, mineral profile, phenolic acids and the antioxidant potential of xique-xique cactus. Furthermore, to assess the bioaccessibility of the phenolic compounds after simulated gastrointestinal digestion.

2. Material and methods

2.1 Chemical products and reagents

Folin-Ciocalteu reagent, pepsin, α -amylase, pancreatin, glycodexicolate, taurodeoxycholate and taurocholate were obtained from Sigma-Aldrich (St. Louis, Missouri, USA). Hydrochloric acid (HCl) (37% w/w) and methanol were purchased from Neon (São Paulo, Brazil).

The chemicals 2,2'-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) and hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox) were obtained from Sigma-Aldrich Chemical, SA (Hamburg, Germany) and 2,4,6-tris (2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) was purchased from Sigma-Aldrich Chemical, SA (Milan, Italy).

Standards of phenolic compounds for high-performance liquid chromatography (HPLC): catechin, epicatechin, epigallocatechin gallate, procyanidin B1, B2, quercetin 3-glucoside, rutin, kaempferol 3-glucoside, gallic acid, syringic acid were purchased from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA). Sugar standards: glucose, fructose, galactose, sucrose, arabinose and xylose were obtained from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA). The mineral standards: magnesium, calcium, sodium, manganese, phosphorus, iron, zinc and selenium were obtained from Specsol (Quimlab, Jacareí, Brazil) and Merck (Darmstadt, Germany), and the amino acid standards were from Sigma-Aldrich.

2.2 Plant Material

Xique-xique (*Pilosocereus gounellei*) cladodes were collected in a private growing area located in the municipality of Boa Vista, Paraíba, Brazil (07° 15' 32" S 36° 14' 24" W) in three lots in April 2016. The material was botanically identified by Prof. Dr. Leonardo Person Felix of the Centre of Agrarian Sciences of the Federal University of Paraíba - (CCA/UFPB)

and the certified species (17,562) was deposited in the Prof. Jaime Coelho Morais Herbarium (CCA/UFPB). Plant material collection was performed with authorization from the Information and Biodiversity System of Brazil (SISBIO) number (62681) and the National System for Management of Genetic Heritage and Associated Traditional Knowledge (SISGEN) number (AA17429).

The cladodes were selected considering their physical integrity by removing the thorns at the collection time and then transported in boxes made of polystyrene under a temperature of 5 ± 1.0 °C for later processing.

The sample preparation was followed by washing the cladodes in running water and disinfecting by immersion in chlorinated water (100 ppm) for 15 minutes, and then rinsed. They were subsequently cut into pieces of 5 cm x 5 cm and divided into three structural groups, classified as: vascular cylinder, central stem and central vascular cylinder + central stem, as illustrated in Figure 1. The samples of the experimental xique-xique groups were then crushed with a processor (Brand Oster/Model 2619 - 057), resulting in a paste and stored under freezing conditions (-20 ± 1.0 °C) for later analysis.

The xique-xique samples were freeze-dried (LIOBRAS[®] L101) for 12 hours at the average condenser temperature of -40 ± 1.0 °C in a vacuum, up to obtaining samples which were free from apparent moisture. Then they were packed in tubes of 10 mL and transported to the Food Technology Institute (ITAL/Campinas-SP) for determining fibers and minerals, sugars, and the amino acids profile.

2.3 Physical Characterization and Nutritional Composition

The physical parameters of water activity (Aa) (AquaLab model CX-2), pH (Quimis model Q400as), total titratable acidity, and soluble solids (°Brix) were measured by a digital refractometer (Hanna[®], HI 96801), and the nutritional composition was determined by analyses of moisture content, total solids, ash, protein, and total fiber (soluble and insoluble),

as recommended by the methodology according to the *Association of Official Analytical Chemist methods* (AOAC, 2012), while the lipids were determined according to Folch, Less & Stoane-Stanley (1957), with extraction in a chloroform-methanol solution (2:1).

2.4 Sugars profile

The hydrolysis process of the vascular cylinder was performed according to the methodology of Sluiter et al. (2008), in which 300 mg of sample was hydrolysed with 3 mL dilute sulphuric acid 72% (m/v) in a 30 ± 1 °C bath for 60 min, with samples being stirred 5 in 5 min. Next, 84 mL of distilled water was added after these 60 min, and the hydrolysis process ended in the autoclave for an additional 60 min. Sugars were determined following the methodology of Ávila, Forte & Goldbeck (2018). The samples were filtered using a vacuum pump, and the liquid was analyzed in a Dionex-DX500 chromatograph using a CarboPac PA1 column (500 mm x 50 mm) and a pre-column (4 mm x 50 mm). The mobile phases used were A NaOH (50 mMol) and B (NaOAc 500 mMol + NaOH 50 mMol). The run was performed in a time of 40 minutes using the following elution gradients: in the time from 0 to 25 minutes: 50% mobile phase A (50 mM sodium hydroxide) and 50% D (water); a column cleaning was then performed from 25 to 35 minutes using 62% B (500 mM Sodium Acetate + 50 mM Sodium Hydroxide) and 38% A (50 mM sodium hydroxide); and the initial condition was then repeated (50% A and 50% D) from 35 to 40 minutes (Stabilization Period for the next run). Identification of the compound peaks was performed by comparison with the retention times obtained in the injected standards. The standards used were glucose, fructose, galactose, sucrose, arabinose and xylose (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA). Results were expressed as mg/100 g dry weight.

2.5 Mineral Profile

The method described by the AOAC (2012) was used for determining the mineral profile. Thus, we used acid digestion assisted by microwaves as the sample preparation method, with 0.5 g of sample being weighed in teflon tubes for the digestion, along with 7 mL of nitric acid which was purified by distillation in *sub-boiling* (Distillacid[®], Berghof, Eningen, Germany) and 1 mL of 30% hydrogen peroxide (Merck[®], Darmstadt, Germany) added. The digestion proceeded at a maximum temperature of 170 °C for 37 minutes, and then the tube contents were transferred with purified water by reverse osmosis (Gehaka[®], São Paulo, Brazil) to a 25-mL balloon. The analyses were performed in triplicate, and the analytical blank was prepared following the same procedure, omitting the sample.

Mineral determination was carried out on an atomic emission spectrometer with plasma and inductive coupling (ICP OES 5100 VDV, Agilent Technologies, Tokyo, Japan). The analysis conditions were: radio frequency power (1.2 kW); plasma flow rate (12 L/min); auxiliary flow rate (1.0 L/min); nebulization flow (0.7 L/min); plasma view (axial for Fe, Mn, and Zn; radial for Ca, Mg, P, Na); wave lengths: Ca (317.933 nm), Fe (259.940 nm), Mg (279.553 nm), Mn (257.610 nm), P (213.618 nm), In (589.592 nm), If (196.026 nm), and Zn (206.200 nm). Quantification of the elements in samples consists of the correlation between measuring the signal intensity emitted/absorbed by the inorganic elements in relation to the analytical curve. The standard multi-element solution was acquired on Specsol with certified analysis and traceability N I ST (M I C P G 6 V - 1 2 5). Results were expressed as mg/100 g.

2.6 Amino acid profile

The amino acid composition was determined according to the methodology described by White, Hart, and Fry (1986). The sample was subjected to acid hydrolysis (6 mol/L HCl) under heating (115 °C/22 h). After protein hydrolysis and the release of amino acids,

phenylisothiocyanate (PITC) pre-column derivatization and separation of the phenylthiocarbamyl amino acid derivatives (PTC-aa) were performed in high-performance liquid chromatography (Shimadzu Corporation, Tokyo, Japan) on a C18-Luna-Phenomenex reverse phase column (250 mm x 4.6 mm, particle 5 μ m; Phenomenex Inc., Torrence, CA, USA). The amino acids were identified and quantified using a standard external method (Pierce/PN 20088), as described by Hagen, Frost & Augustin (1989). Tryptophan was determined separately by enzymatic hydrolysis with pronase according to Spies (1967).

2.7 Determination of antinutritional factors

Quantification of the total tannins was performed according to the method described by AOAC (2012), the phytic acid content according to Latta & Eskin (1980), and trypsin inhibitor using the methodology described by Rackis (1974).

2.8 Determination of phenolic compounds and antioxidant activity of xique-xique

2.8.1 Total Phenolics

First, 1g of the sample with an addition of 25 mL of water was used for extraction of the xique-xique vascular cylinder in an ultrasonic bath for 1h, and centrifuged for 15 minutes.

The total phenolic acid content was quantified using the spectrophotometric method with the Folin-Ciocalteu reactive (Singleton & Rossi, 1965). The xique-xique extract (100 μ L) was mixed with 2 mL of water in a 10-ml volumetric flask. Next, 0.5 mL of the Folin-Ciocalteu reagent was added following this procedure. After 5 minutes of reaction, a 1.5 mL solution of Na₂CO₃ (20 g/100 mL) was added to complete the volume of the balloon with distilled water. After 120 minutes of incubation at room temperature, we were able to verify the absorbance of the solution at 765 nm using a Cary 60 spectrophotometer (Agilent

Technologies, Malaysia). The total phenolic content was expressed in mg equivalent of gallic acid per gram of vascular cylinder (mg Eq/g).

2.8.2 Extraction method of the xique-xique vascular cylinder

The xique-xique vascular cylinder was weighed into a polyethylene tube, then 10 mL of methanol and 10 mL of acetone were added and subjected to ultrasound for a period of 30 minutes. It was then centrifuged and the supernatant was collected. Extraction was repeated 2 more times under the same conditions using the residue. The supernatants were combined and submitted to the concentration in a rotavaporator (Fisatom 802, São Paulo, Brazil). Finally, the extract was resuspended in 2 mL of methanol and filtered through a PVDF filter (0.22 μ m). This extract was used to determine the phenolic compound profile.

2.8.3 Determination of the phenolic compound profile

Identification and quantification of phenolic compounds was performed according to the methodology validated by Padilha et al. (2017) and adapted by Dutra et al. (2018), using an Agilent 1260 Infinity LC System liquid chromatograph (Agilent Technologies, Santa Clara, USA) attached to a diode arrangement detector (DAD) (model G1315D). The data were processed using the OpenLAB CDS ChemStation Edition software (Agilent Technologies, Santa Clara, USA). A Zorbax Eclipse Plus RP-C18 column (100 $\times$ 4.6 mm, 3.5 μ m) and a Zorbax C18 pre-column (12.6 $\times$ 4.6 mm, 5 μ m) (Zorbax, USA) were used. The temperature was 35 °C and the injection volume was 20 μ L of the sample, previously diluted in stage A, and filtered through a 0.45- μ m membrane (Millex Millipore, Barueri, SP, Brazil). The solvent flow was 0.8 mL/min. The gradient used in the separation was from 0 to 5 min: 5% B; 5-14 min: 23% B; 14-30 min: 50% B; 30-33 min 80% B, where solvent A was a phosphoric acid solution (0.1 M, pH = 2.0) and solvent B was acidified with methanol with

0.5% H₃PO₄. Detection of the compounds was carried out at 220, 280, 320, 360 and 520 nm, and the identification and quantification by comparison with external standards.

2.8.4 Antioxidant Activity

2.8.4.1 DPPH• radical scavenging (2,2-difenil-1picrilhidrazila)

Determination of the antioxidant activity occurred by the ability to turn off the DPPH• radical according to the method of Brand-Williams, Cuvelier & Berset (1995) with adaptations. Next, a DPPH solution of 0.06 mmol/L in methanol p.a. was prepared and stored in amber glass at 20±1 °C until its use. An aliquot of 2.9 mL of this solution was mixed with 100 µL of the xique-xique extract and incubated at room temperature for 30 minutes in the dark. Afterwards, an assessment regarding the solution absorbance at 515 nm was conducted using a Cary 60 spectrophotometer (Agilent Technologies, Malaysia). The results were expressed in µM Trolox/100 g of the vascular cylinder, as determined from a standard Trolox curve (0-620.5 µM).

2.8.4.2 Ferric Reducing Ability Plasm (Fe^{+2}) (FRAP)

The antioxidant potential by the FRAP method was performed using the methodology described by Rufino et al. (2006). The xique-xique extract (90 µL) and 270 µL of distilled water were mixed with 2.7 mL of FRAP reagent.

The FRAP reagent was prepared in 0.3 mol L⁻¹ acetate buffer (pH 3.6), TPTZ (2,4,6-tris (2-pyridyl) -s-triazine) 10 mmol L⁻¹ in a solution of HCl 40 mmol L⁻¹ and 20 mmol FeCl₃). They were subsequently mixed in a tube and incubated for 30 min in a water bath at 37 °C. Absorbance (595 nm) was measured using the Cary 60 spectrophotometer (Agilent Technologies, Malaysia). The standard curve was performed with Trolox and the results are expressed in µM Trolox/100 g of vascular cylinder.

2.9 *In vitro* gastrointestinal digestion of phenolic compounds

The xique-xique vascular cylinder was submitted to gastrointestinal physiology conditions and was evaluated in three sequential phases: oral, gastric and intestinal, as described by Dantas et al. (2019). The crushed vascular cylinder was then mixed with 5 mL of salt solutions (2.38 g of Na₂HPO₄, 0.19 g of KH₂PO₄, 8 g of NaCl and 200 U/L of α -amylase) in amber flasks, and the mixture was agitated for 10 minutes in a water bath at 37±2 °C to 95 rpm for the oral phase simulation. Then, 1 mg of pepsin was added and the system was acidified up to 2.0 pH with HCl 0.1 mol/L, incubated at 37 °C with agitation at 95 rpm for 1 hour for the gastric phase simulation. Then the mixture was immediately cooled and followed by the intestinal phase conditions. The cellulose membranes were completely immersed in a tube until it reached a pH of 5.0. Then, 5 mL of pancreatin (0.12 g) and bile salts were added. The samples were incubated on a shaker (95 rpm) at 37 °C for 2 hours to complete the intestinal stage. In the final step, the dialysis membrane was removed and rinsed with distilled water. The dialyzed and non-dialyzed fractions were analyzed.

The bioaccessibility was expressed as a percentage and was determined following Equation 1:

$$\text{Bioaccessibility (\%)} = (\text{BC dialyzed} / \text{BC dialyzed} + \text{BC non-dialyzed}) \times 100 \quad \text{Eq.1}$$

Where dialyzed BC corresponds to the phenolic compounds concentration in the dialyzed fractions (bioaccessible fraction) and non-dialyzed BC is the phenolic compounds concentration in xique-xique.

2.10 Statistical Analysis

The data were analyzed by analysis of variance (ANOVA) and the differences between the groups using Tukey's test for comparison of averages at the 5% level of significance using the Assistat (2016) package (*Statistical Assistance* - version 7.7 beta).

3. Results and discussion

3.1 Physical characterization and nutrient composition

The results obtained for water activity, pH, acidity, and terms of total soluble solids (°Brix) are presented in Table 1. The water activity and pH values did not differ between the samples ($p > 0.05$). However, the acidity and soluble solids results in the central stem were superior to the other analyzed experimental structures ($p < 0.05$).

Xique-xique water activity was high (0.97) and the pH ranged from 4.69 to 4.87, with these values being close to those reported in the studies by Nascimento et al. (2011), who found pH of 4.3 in xique-xique fruits, and Mendez et al. (2015), who found values of 4.7 and 4.64 for *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* cladodes, respectively. The water activity content in foods is one of the most important parameters related to their conservation from the biological point of view and physical alterations. In addition to the water activity, the pH establishes an essential role during processing, as well as possibly being related to micro-organism development (Piga, 2004).

The xique-xique presented a high moisture content ranging from 94.16% for the vascular cylinder, 87.13% for the central stem, and 93.37% for the two structures, with the lowest proportion of total solids (12.87%) being present in the central stem ($p < 0.05$). The high humidity indicates a greater supply of this nutrient in the cylinder, meaning that most of the water is stored in this region. This corroborates the study by Almeida et al. (2007), which determined that the central stem of xique-xique would be most suitable in flour production

because of the high solids content in this part, which may indicate more significant income, and the vascular cylinder would be better used in producing jams and sweets for containing high humidity.

The high moisture concentration in cacti and consequently the high water activity occur as a result of their morphological and physiological adaptations. This includes the water storage in its stems, which prevents loss by evaporation; and consequently the roots absorb and accumulate dew during the night, achieving greater efficiency in water usage which enables their survival during the dry season (Lucena et al., 2013). Values close to those found in this study have been reported for other Cactaceae, such as in the study by Méndez et al. (2015) considering *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica*, obtaining moisture values between 92.0% to 94.0%, respectively, which are close to the values found in the xique-xique vascular cylinder.

The acidity and pH of the cactus are related to organic acid production such as malic acid, citric and oxalic acids, as well as crassulacean acid metabolism (CAM), which is responsible for the photosynthesis process and water reserve. Its metabolism is an adaptation condition to the arid conditions of this plant type (Astello-García et al., 2015).

Almeida et al. (2007) presented variations of 1.50 to 1.75 and 2.75 °Brix in the vascular cylinder and central stem (stem) of xique-xique. Still, according to the author, the terms of total soluble solids are mainly constituted by sugars

The physical characteristics and physical-chemical properties of the food are quality parameters which interfere in the choice and maintenance of these properties during the marketing and development of products (Pereira et al., 2013). Overall, xique-xique needs care during storage due to its high moisture content and water activity, and for presenting lower acidity (pH > 4.5), being more susceptible to micro-organism development.

The protein content was higher ($p < 0.05$) in the vascular cylinder (8.39%), and the lipids were higher in the central stem (5.98%) ($p < 0.05$). These parameters are nutritional quality indicators, however they can appear to be reduced in vegetable arrays varying according to age, soil, and the cultivation location (Mendez et al., 2015).

The xique-xique samples did not show differences regarding the total food fiber content ($p > 0.05$), but the cylinder showed higher soluble fiber concentration (14.83 g/100 g) in relation to the dietary soluble and insoluble fiber content ($p < 0.05$), while the stem had a higher insoluble fiber level (40.18 g/100 g).

The importance of dietary fiber in the food is related to its beneficial effects on the body, among them being the prevention of several non-communicable chronic diseases (Rodriguez et al., 2006). Soluble fiber has aroused interest because of its prebiotic effect and its technological application, being used during the production of several products with antioxidant action (Lopez-Vargas et al., 2013; Mrabet et al., 2017). Diets with high soluble fiber can act as a protector, bringing health benefits against several diseases including cardiovascular disease and diverticula of the colon, in addition to their capacity to retain water and increase postprandial satisfaction. In the same way, technologically, the food could act as a critical thickening and gelling agent, and a stabilizer of foams, among other properties (Martínez et al., 2012). The high proportion of insoluble dietary fiber in the food also has a beneficial effect on the body, considering that, an adequate intake of these fibers provides longer satiety and increases the volume of fecal matter, thus promoting better functioning of the digestive system (Ku & Mun, 2008).

The values found for the fibers in this study are above those found by Méndez et al. (2015) for the *Cactaceae Opuntia dillenni* and *Opuntia ficus indica* species, who obtained 3.73 g/100 g and 2.70 g/100 g of total dietary fiber. By presenting approximately 46.19 g/100

g of total dietary fiber and 14.83 g/100 g of soluble fiber in the cylinder, xique-xique could act as an enriching ingredient in various food products, including in jelly.

Sugars and organic acids are major contributors which serve as a parameter to set the total available carbohydrate fraction (Morales et al., 2012). The sugars identified in the xique-xique samples were fructose, glucose, xylose, arabinose, galactose and sucrose (Table 2). This study observed that the sugars' profile in the xique-xique vascular cylinder showed a predominance of fructose (5.26%), followed by glucose (2.37%). Xylose and arabinose were also identified, as these sugars are characteristic of the Cactaceae, and are present in the mucilage which constitutes them (Medina-Torres et al., 2000).

In a study with *Opuntia ficus indica* cladodes, Figueroa-Perez et al. (2016) observed that arabinose is usually found in older cladodes, while glucose is found in younger cladodes; and according to Fulkerson & Donaghy (2001), the reason for the accumulation of these sugars is related to metabolic processes such as respiration and photosynthesis, with the growth and development of plants being influential features. In this regard, the cladodes in this study can be qualify as young, considering that the proportion of glucose 2.37% is higher than that of arabinose with 0.89%.

The ash levels were higher in the vascular cylinder (34.07%) ($p < 0.05$). In general, the ash content in food serves as a parameter for nutritional value, as well as for evaluating functional properties because they are related to the micronutrient contents contained in the food (Almeida et al., 2007). Thus, it was possible to assess that the mineral content was higher in the vascular cylinder, as presented in the data.

3.2 Mineral profile

Minerals are essential nutrients to the human body and are used for the proper functioning of the body. Consequently, reference values for their intake are periodically

established (Padovani et al., 2006), which are based on Dietary Recommendations (Rda) and Adequate Intake (AIs). Such parameters are those which determine the levels of nutrients corresponding to an individual's needs (US - Institute of Medicine, 2006).

The different mineral levels present in vegetables can occur due to genetic and geographic conditions and the growth stage, in addition to the differences between the applied analytical methods (Kibar & Kibar, 2017). According to Bañuelos et al. (2012), some minerals are present in higher amounts in the cladodes than in the fruit, with this being justified because of the fruit's respiration rate being lower than the respiration rate in the cladodes, and many minerals develop following a high transpiration rate. The mineral profile of xique-xique is shown in Table 3.

The magnesium present in xique-xique differed in the three analyzed structures, in which the vascular cylinder presented high magnesium values (3123.00 mg/100 g) and the central stem presented a smaller proportion (299.00 mg/100 g) ($p < 0.05$). The recommendations of this mineral for human consumption correspond to between 420 to 320 mg/day for men and women. The importance of this mineral is related to several critical metabolic reactions performed in the human organism, constituting a co-factor in over 300 enzymatic reactions (Ayuk & Gittoes, 2014). It acts in forming tissues, bones and teeth, contributes to the release of the parathyroid hormone and in conversion reactions of Vit D into its active form, also acting in the metabolism of carbohydrates. One of the causes of magnesium deficiency in the body is neuromuscular hyper-excitation, convulsions, and tetany, which may lead to death (Elinge et al., 2012). Considering its importance in human metabolism, xique-xique meets the daily recommendations for magnesium, strengthening the possibility of using this raw material as a food or supplement in a food matrix.

The daily recommended intake for calcium is 1000 mg/day, and 1300 mg/day in the case of pregnant women and infants. Calcium in xique-xique presented values between

775.00 mg/100 g and 2592.00 mg/100 g, with the higher proportion being detected in the vascular cylinder. Calcium is one of the most abundant minerals in the body and plays an essential role in the structure and conservation of bones and teeth, muscle development, and heartbeat and blood pressure regulation (BRAZIL, 1998; Kashian & Fathivand, 2015; Song & Sergeev, 2012).

The sodium values found in xique-xique differed among the structures ($p < 0.05$). The central stem presented the higher sodium proportion in comparison to the others (950.00 mg/100 g). Sodium acts in regulating blood pressure, acid-base balance, blood volume, and transmission of nerve impulses, among other functions. However, studies suggest that its intake is higher than what is recommended for the proper functioning of the body because the excess of this mineral is associated to the development of hypertension and renal failure, among other complications (Aburto et al., 2013; Elinge et al., 2012).

The manganese values in the present study differed among the groups ($p < 0.05$), where the cylinder had the highest content (131.90 mg/100 g), and the stem had the lowest proportion (35 mg/100 g). The recommendations for daily manganese intake correspond to 2.3 mg/day and 1.8 mg/day. Therefore, it can be observed that xique-xique features a content which exceeds the intake recommendations of this mineral in the human diet. In comparison with other cacti, Astello-Garcia et al. (2015) found lower amounts of this mineral in *Opuntia* spp. cladode samples (10.2 to 25.9 mg/100 g). One study on manganese supplementation showed that the presence of this mineral in the diet increased insulin secretion and improved glucose tolerance in dietary stress conditions in mice (Kaur & Henry, 2014).

The phosphorus values differed in the three experimental structures analyzed ($p < 0.05$). As a result, the cylinder + stem presented the highest amount for this mineral (59.5 mg/100 g). The intake recommendations for phosphorus correspond to 700 to 1250 mg/day, varying according to gender and age. There are numerous action mechanisms played by

phosphorus in the human body. This mineral plays the role of the membrane, synthesis of nucleic acid, energy metabolism, muscular contractility, neurological activities, transport of electrolytes, and bone mineralization, among others (Shaman & Kowalski, 2015). According to the study, xique-xique is not presented as a source of this mineral, but it may provide it in the diet along with other minerals which are also present in its composition.

Zinc differed in the three analyzed treatments in which ($p < 0.05$) the vascular cylinder presented 7.78 mg/100 g and the central stem showed 1.71 mg/100 g. The daily recommendation of this mineral for adults corresponds to 11 to 8 mg/day. Zinc deficiency occurs in underdeveloped populations, affecting the immune system, taste, and smell, in addition to being related to DNA and RNA synthesis (Elinge et al., 2012; Fraga, 2005). Although it is an essential mineral for the health of the human body, an excess amount of zinc can be harmful and can suppress copper and iron absorption (Brewer, 2010).

In this study, the iron content in xique-xique ranged from 2.03 mg/100 g to 3.32 mg/100 g, although the cylinder + stem had a higher content of this mineral. The daily recommendation intake values for iron correspond to 8 up to 18 mg/day for men and women, respectively. A deficiency of this nutrient in the diet is associated with the development of iron deficiency anemia, causing changes in muscular metabolism. In children, it can lead to a decrease in cognitive ability and behavior changes. Fruits which have a good proportion of this mineral can be included in the diet of populations with iron deficiency (Elinge et al., 2012; Fraga, 2005). Therefore, xique-xique could provide 23% of the daily recommendations, which may be included in the diets of populations which exhibit a lack of this mineral.

The selenium content was lower in the central stem (0.01 mg/100 g) ($p < 0.05$) when compared to the other components, and presented 0.05 mg/100 g (50 μ g/100 g) in the vascular cylinder. In line with the literature, the contribution of fruits and vegetables regarding the availability of this mineral in the daily intake of most human diets is only 8% of the total

(Combs, 2001). Selenium plays essential roles in the human body, such as in preventing cardiovascular diseases, immune system regulation, and the reduction of various types of cancer (bladder, liver, thyroid, and lung) (Rayman, 2012). However, since the year 2000, the WHO has established daily recommendations of selenium intake for men and women of 55 µg/day (WHO/FAO, 2001), considering that there is a minimal threshold between the required dose and the toxic dose in the intake of this mineral for human health (Santos et al., 2017).

3.3 Amino Acid Profile

The present study quantified 18 amino acids present in xique-xique, being nine essential and nine non-essential amino acids. The three xique-xique structures did not differ concerning the amino acid content ($p > 0.05$), and no results were found relating to tryptophan (Table 4). On the other hand, arginine ranged between 0.53% to 0.58%, and leucine ranged between 0.28 to 0.70%. These amino acids most stood out in the results. Information about amino acid composition in Cactaceae is scarce in the literature, and therefore the present study provides previously unpublished information on the nutritional composition of this plant, enabling greater knowledge and use.

Amino acids are responsible for various bodily functions, and some of them are responsible for protein synthesis, gene expression, cell signaling, nutrient transport, and anti-oxidative responses, among other features (Wu, 2013).

3.4 Antinutritional factors, phenolic compounds, antioxidant activity and bioaccessibility

As per the nutritional composition and physical characterization results, the xique-xique vascular cylinder group was selected, taking into account that it has favorable features to use in preparing products such as sweets and jams. Therefore, further analysis aiming at

analyzing its compounds for possible beneficial activity for its consumers was carried out, which included determining antinutritional factors, antioxidant activity, phenolic profile and bioaccessibility.

3.4.1 Antinutritional factors

Antinutritional factors are found in plant foods and have adverse effects on human health. As an example, phytic acid which forms an insoluble complex with some minerals such as calcium and copper, along with the tannins which are part of a group of polyphenol compounds, and together with protein can form a tannin-protein insoluble complex being responsible for antinutritional effects in the food, in addition to inhibiting the activity of trypsin, chymotrypsin, amylase and lipase, decreasing the protein quality and interfering with the absorption of iron-dietetics. Furthermore, there is trypsin inhibitor, which may be considered an anti-nutrient for being an enzyme inhibitor that interferes with digestion (El-Anany, 2015; Emire et al. 2013; Gemedede & Ratta, 2014).

In this work, the tannin content was 230.30 mg/100 g, trypsin inhibitor was 3.04 mg/g, and the phytic acid values were undetectable when less than 0.05 mg/g. The tannins content found in the xique-xique vascular cylinder were relatively close to those found by El Anany (2015) in raw guava seeds (325.67 mg/g). However, heating can be an alternative in reducing these antinutritional factors, since a heat treatment significantly reduces its content in plant-based food (plant foods) (El-Anany, 2015; Seena et al. 2006).

3.4.2 Determination of phenolic compounds and antioxidant activity

The results of total phenolic and antioxidant activity are expressed in Table 5.

In the present study, 258.21 mg GAE/g of total phenolic content was found in the xique-xique vascular cylinder. These results only refer to the xique-xique cladodes without

the thorns and bark; according to Omena et al. (2012), these structures have higher antioxidant activity when only compared with the content present in the pulp.

The phenolic compounds present in plants also act as protection against ultraviolet light and in the defense against pathogenic microorganisms (Osorio-Esquivel et al., 2011). Plants can synthesize a large variety of phenolic derivatives under different environmental conditions and stress factors, including benzoic acids, flavonoids, tannins and lignin. The beneficial effects of plants on human health is associated with the type and the content of its phenolic compounds, which is related to its antioxidant activity due to their ability to (among other things) chelate metal ions which are involved in the formation of free radicals (Boudet, 2007; Cotellet, 2001; Chougui et al., 2013; Ghasemzadeh & Ghasemzadeh, 2011; Tounsi-Saidani et al., 2011).

Antioxidants were evaluated in the present work regarding their inhibition activity of the DPPH radical, being found to be 572.96 μM of TEAC/100 g for the xique-xique vascular cylinder, while the FRAP values presented differences in the DPPH tests. In the FRAP analysis the vascular cylinder corresponded to 1912.95 μM of TEAC/100 g, being superior to the DPPH method (572.96 μM of TEAC/100 g).

Studies on the antioxidant activity of xique-xique were carried out by Maciel et al. (2016) in researching the ethanolic extracts of its fruits, roots, cladodes and flowers, and detected lower results than in the present study, being 127.9 mg GAE/g; 61.1 mg GAE/g; 45.1 mg GAE/g; and 43.5 mg GAE/g, respectively.

The antioxidant activity determination varied according to the employed methodology, and it is not possible to determine which of the applied methods could better predict these effects. Overall, xique-xique presented low inhibition of the DPPH radical regarding the FRAP method.

3.4.3 Profile and bioaccessibility of phenolic compounds

Polyphenols or phenolic compounds are present throughout the plant kingdom and are part of the secondary metabolite group in plants. Polyphenols are made up of aromatic compounds which are responsible for the sensory characteristics of its products. According to the constitution of the aromatic ring and the roots that bind these rings, they can be classified into four categories: phenolic acids, flavonoids, stilbenes and lignans (Bohn, 2014; Gutiérrez-Grijalv et al., 2016; Legeay et al., 2015; Losada-Barreiro & Bravo-Díaz, 2017).

The phenolic compound profile in the xique-xique vascular cylinder was identified and is expressed in Table 6. Among the group of flavonoids identified, catechin, epicatechin, epigallocatechin gallate, procyanidin B1, procyanidin B2, quercetin-3-glucoside, rutin and kaempferol glucoside are listed, with catechin (77.13 mg/100 g) and epigallocatechin gallate (328.23 mg/100 g) showing the most prevalent content.

Catechins are present in many plant-based products, in fruits, green and black tea, wine, and beer, among others. The benefits of the antioxidant content presented in some foods (such as green tea) are attributed to the presence of catechins and epigallocatechin gallate in their composition. Several studies attribute antioxidant, anticarcinogenic, antimicrobial, antiviral, anti-inflammatory and antidiabetic properties to catechins (Ananingsh et al., 2013). Epigallocatechin gallate is considered the most abundant, active and commonly used catechin, and presents quality indicators; as it is a catechin, it also has antioxidant, anti-inflammatory, hypolipidemic and anti-hypoglycemic properties (Legeay et al., 2015).

Among the identified flavonoids, quercetin-3-glucoside showed the best result (14.97 mg/100 g), followed by rutin (4.80 mg/100 g) and kaempferol glucoside (2.54 mg/100 g).

Gallic acid and syringic acid were also presented among the phenolic acids, however only syringic acid presented values in the profile (14.74 mg/100 g), while gallic acid was only expressed in the *IN* (dialysed) Fraction. According to Punithavathi et al. (2011), gallic acid

has antioxidant, antihyperglycemic and antilipidemic effects, in addition to hepatoprotection effect (Rassol et al., 2010).

The results for the bioaccessibility of the phenolic compounds identified in the xique-xique vascular cylinder are presented in Table 6. Catechin (13.3%), epigallocatechin gallate (22.7%), procyanidin B1 (100%), procyanidin B2 (7.87%), and gallic acid (100%) were the compounds that presented bioaccessibility after going through the gastrointestinal tract simulation conditions.

Some compounds in this study were not bioaccessible, such as epicatechin, quercetin-3-glucoside, rutin, kaempferol glucoside, and syringic acid. According to Ribas-Agustí et al. (2017), non-bioaccessible compounds are also important because they present positive effects on correct bowel functioning, and they also may exhibit inhibitory effects on intestinal microbiota. The absorption and metabolism of the polyphenols are widely influenced by their chemical structure, with 90-95% not being absorbed in the small intestine. An example is the majority of flavonoids which are not absorbed in the small intestine, thus being metabolized in the large intestine, while isoflavones are better absorbed. Catechin, flavanone, and glucoside flavonols present intermediate absorption, and proanthocyanidins, flavan-3-ol and anthocyanins have lower absorption than the others (Dueñas et al., 2014).

In general, bioaccessibility is the feed content which is released from the matrix to the intestinal tract and which is available for absorption (Beard et al., 2017; Heaney, 2001). The changes which occur during this phase are evaluated through an *in vitro* gastrointestinal simulation because several changes arise during the gastric and intestinal stages, and various factors are involved in these changes such as the array of food, pH, temperature, enzymes, inhibitors or enhancers of absorption, among others (Bouayed et al., 2011; Saura-Calixto et al., 2007).

Because of these factors, the behavior of the compounds released in the dialyzed and non-dialyzed phases were lower in this study than those presented in the original composition. The changes between the phases showed that the phenolic acid amount from the dialyzed stage was inferior to the non-dialyzed stage, which according to Bouayed et al. (2011), indicates the incomplete release or degradation of these compounds. Also, the additional extraction time and the effect of intestinal digestion (enzyme action) facilitates the release of phenolics bound to the array. Furthermore, the change in the *in-phase* to the *out-phase* values occurs because of the transition from gastric acid to the intestinal alkaline system (Tagliazucchi et al., 2010).

4. Conclusion

Xique-xique cladodes presented important nutrients for organisms such as a representative content of soluble and insoluble total fiber and of minerals, especially calcium, magnesium, selenium, and zinc in the vascular cylinder. The soluble fiber content shown in the vascular cylinder composition of xique-xique points to its potential in technological application and development of new products, suggesting further investigations into their functional potential; in addition, the mineral content was shown to be a positive aspect which is of great importance in this cactus, as well as the phenolic compound profile and the bioaccessibility study of these compounds.

In this sense, it is possible to perceive xique-xique as an alternative food of great nutritional importance. However, there is still a need for more studies on its use as a raw material for various other food products to ensure the food quality, mainly in human food.

The present work is a groundbreaking study that determines the characterization of xique-xique, providing information for developing derived products by using it as raw

material. More research from its characterization should be added together to ensure nutrition security, in addition to the enjoyment and appreciation of this cactus species.

Acknowledgements

This study was financed in party by the Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nivel Superior – Brasil (CAPES) –Finance Code 001.

The authors thank Prof. Pedro Dantas Fernandes (Agricultural Engineering Academic Unit, Federal University of Campina Grande, Brazil), for supplying the plant material.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

References

- Aburto, N. J., Ziolkovska, A., Hooper, L., Elliott, P., Cappuccio, F. P., Meerpohl, J. J. (2013). Effect of lower sodium intake on health: Systematic review and meta-analyses. *British Medical Journal*, 346, 1–20.
- Agra, M. F., Silva, K. N., Basílio, I. J. L. D., Freitas, P. F., Barbosa-Filho, J.M. (2008). Survey of medicinal plants used in the region Northeast of Brazil. *Brazilian Journal of Pharmacology*, 18(3), 472–508.
- Albuquerque, U. P., Medeiros, M. P.; Almeida, A. L.; Monteiro, J. M.; Freitas, E. L. N. M., Melo, J, G., Santos, J. P. (2007). Medicinal plants of the caatinga (semi-arid) vegetation of NE Brazil: a quantitative approach. *Journal of Ethnopharmacology*, 114(3), 325–354.
- Almeida, C. A., Figueiredo, R. M. S., Queiroz, A. J. M., Oliveira, F. M. N. (2007). Características físicas e químicas da polpa do xique-xique. *Revista Ciência Agronômica*, 38, 440–443.

- 621 Ananingsih, V. K., Sharma, A., Zhou, W. (2013). Green tea catechins during food processing
622 and storage: A review on stability and detection. *Food Research International*, 50,
623 469–479.
- 624 Astello-García, M. G., Cervantes, I., Nair, V., Santos-Díaz, M. S., Reyes-Aguero, A.,
625 Guéraud, F., Negre-Salvayre, A., Cisneros-Zevallos, L., De La Rosa, A. P. B. (2015).
626 Chemical composition and phenolic compounds profile of cladodes from *Opuntia* spp.
627 cultivars with different domestication gradient. *Journal of Food Composition and*
628 *Analysis*, 43, 119–130.
- 629 AOAC – Association of Official Analytical Chemists. (2012). Official Methods of Analysis.
630 19 th ed, Washington D.C USA.
- 631 Ayuk, J., Gittoes, N. J. L. (2014). Contemporary view of the clinical relevance of magnesium
632 homeostasis. *Annals of Clinical Biochemistry*, 51(2) 179–188.
- 633 Ávila, P. F., Forte, M. B. S., & Goldbeck, R. (2018). Evaluation of the chemical composition
634 of a mixture of sugarcane bagasse and straw after diferente pretreatments and their
635 effects on comercial enzyme combinations for the production of fermentable sugars.
636 *Biomass and Bioenergy*, 116, 180–188.
- 637 Bañuelos, G. S., Stushnoff, C., Walse, S. S., Zuber, T., Yang, S. I., Pickering, I. J., Freeman,
638 J. L. (2012). Biofortified, selenium enriched, fruit and cladode from three *Opuntia*
639 *Cactus* pear cultivars grown on agricultural drainage sediment for use in nutraceutical
640 foods. *Food Chemistry*, 135, 9–16.
- 641 Barba, F. J., Mariutti, L.R.B., Bragagnolo, N., Mercadante, A.Z., Barbosa-Cánovas, G.V.,
642 Orlien, V. (2017). Bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables
643 after thermal and nonthermal processing, *Trends in Food Science & Technology*, doi.
644 10.1016/j.tifs.2017.07.006.

- 645 Bohn, T. (2014). Dietary factors affecting polyphenol bioavailability. *Nutrition Reviews*,
646 72(7), 429–52.
- 647 Boudet, A. M. (2007). Evolution and current status of research in phenolic compounds.
648 *Phytochemistry*, 68, 2722–2735.
- 649 Bouayed, J., Hoffman, L., Bohn, T. (2011). Total phenolics, flavonoids, anthocyanins and
650 antioxidant activity following simulated gastro-intestinal digestion and dialysis of
651 apple varieties: Bioaccessibility and potential uptake. *Food Chemistry*, 128, 14–21.
- 652 Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to
653 evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 28, 25–30.
- 654 BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria do Ministério da Saúde n.º 33 de 13 de janeiro (1998).
655 Retrieved december 20, 2016 from:
656 http://189.28.128.100/nutricao/docs/legislacao/portaria33_13_01_1998.pdf.
- 657 Brewer, G. J. (2010). Copper toxicity in the general population. *Clinical. Neurophysiology*.
658 121, 459–460.
- 659 Burgner, E., Feinberg, M. (1992). Determination of mono - and disaccharides in foods by
660 interlaboratory study: Quantitation of Bias components for liquid chromatography.
661 *Journal of AOAC International*, 75(3), 443–464.
- 662 Chaves, E. M. F., Barros, R. F. M. (2015). Cactáceas: Recurso alimentar emergencial no
663 semiárido, Nordeste do Brasil. *Gaia Scientia*, 9, 129–135.
- 664 Chaves, E. M. F., Morais, R. F., & Barros, R. F. M. (2017). Popular food practices using wild
665 plants: a potential to minimize nutritional insecurity in the semiarid region of Northeast
666 Brazil. *Gaia Scientia*, 11(2), 287–313.

- Chougui, N., Tamendjari, A., Hamidj, W., a, S Hallal, S., Barras, A., Richard, T., Larbat, R. (2013). Oil composition and characterisation of phenolic compounds of *Opuntia ficus-indica* seeds. *Food Chemistry*, 139, 796–803.
- Combs, G. F. JR. (2001). Selenium in global food systems. *British Journal of Nutrition*, 85, 517–547.
- Cotelle, N. (2001). Role of flavonoids in oxidative stress. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 1, 569–590.
- Çelik, S. E., Özyürek, M., Güçlü, K., Apak, R. (2010). Solvent effects on the antioxidant capacity of lipophilic and hydrophilic antioxidants measured by CUPRAC, ABTS/persulphate and FRAP methods. *Talanta*, 81, 1300–1309.
- Dantas, A. M., Mafaldo, I. M., Oliveira, P. M. L., Lima, M. S., Magnani, M., Borges, G. S. C. (2019). Bioaccessibility of phenolic compounds in native and exotic frozen pulps explored in Brazil using a digestion model coupled with a simulated intestinal barrier. *Food Chemistry*, 274, 202–214.
- Dias, G. E. N., Gorgonio, I. F., Ramalho, J. A., Oliveira, K. M., Guedes, E. J. R. C. E., Leite, F. C., Alves, M. F., Maciel, J. K. S., Souza, M. F. V., Lima, C. M. B. L., Diniz, M. F. F. M. (2015). Acute Oral Toxicity and Anti-inflammatory Activity of Ethanolic Extract from *Pilosocereus gounellei* (Fac Weber) in Rats. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 7(5), 1007–1012.
- Dueñas, M., Muñoz-González, I., Cueva, C., Jiménez-Girón, A., Sánchez-Patán, F., Santos-Buelga, C., Moreno-Arribas, M. V., Bartolomé, B. (2014). A Survey of Modulation of Gut Microbiota by Dietary Polyphenols. *BioMed Research International*. 2015, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/850902>.
- Dutra, M. C. P., Rodrigues, L. L., Oliveira, D., Pereira, G. E., & Lima, M. S. (2018). Integrated analyses of phenolic compounds and minerals of Brazilian organic and

- 692 conventional grape juices and wines: Validation of a method for determination of Cu,
693 Fe and Mn. *Food Chemistry*, 269, 157–165.
- 694 Elinge, C. M., Muhammad, A., Atiku, F. A., Itodo, A. U., Peni, I. J., Sanni, O. M.,
695 Mbongo, A.N. (2012). Proximate, mineral and anti-nutrient composition of pumpkin
696 (Cucurbitapepo L) seeds extract. *International Journal of Plant Research*, 2(5), 146–
697 150.
- 698 El-Anany, A. M. (2015). Nutritional composition, antinutritional factors, bioactive
699 compounds and antioxidant activity of guava seeds (*Psidium Myrtaceae*) as affected by
700 roasting processes. *Journal Food Science Technology*, 54(4), 2175–83.
- 701 Emire, S. A., Jha, Y. K., Mekan, F. (2013). Role of Anti-nutritional Factors in Food Industry.
702 *Beverage & Food World*, 1, 23–28.
- 703 Figueroa-Pérez, M. G., Pérez-Ramírez, I. F., Paredes-López, O., Mondragón-Jacob, C.,
704 Reynoso-Camacho, R. (2016). Phytochemical composition and in vitro analysis of
705 nopal (*O. ficus-indica*) cladodes at different stages of maturity, *International Journal of*
706 *Food Properties*, DOI: 10.1080/10942912.2016.1206126
- 707 Folch, J., Lees, M., Sloane-Stanley, G. H. (1957). A simple method for the isolation and
708 purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226,
709 497–509.
- 710 Fraga, C. G. (2005). Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health.
711 *Molecular Aspects of Medicine*, 26(4–5), 235–244.
- 712 Fulkerson, W.J.; Donaghy, D.J. (2001). Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence –
713 key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based
714 pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 41, 261–275.

- 715 Gemedede, H. F., Ratta, N. (2014). Antinutritional factors in plant foods: Potential health
716 benefits and adverse effects. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(4),
717 284–289.
- 718 Ghasemzadeh, A., Ghasemzadeh, N. (2011). Flavonoids and phenolic acids: Role and
719 biochemical activity in plants and human. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5,
720 6697–6703.
- 721 Gutiérrez-Grijalva, E. P., Ambriz-Pérez, D. L., Leyva-López, N., Castillo-López, R. I.,
722 Heredia, J. B. (2016). Review: dietary phenolic compounds, health benefits
723 and bioaccessibility. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 66(2), 87–100.
- 724 Hagen, S. R., Frost, B., Augustin, J. (1989). Precolumn phenylisothiocyanate derivatization
725 and liquid chromatography of aminoacids in food. *Journal of the Association of Official*
726 *Analytical Chemists*, 72(6), 912–916.
- 727 Heaney, R. P. (2001). Bioavailability of nutrients and other bioactive components
728 from dietary supplements. *Journal of Nutrition*, 131, 1344S–1348S.
- 729 Holasov, A. M., Fiedlerov, V. (2011). Application and comparison of methods of antioxidant
730 activity determination in fruit and vegetable juices. *Chemicke Listy*, 105, 766–772.
- 731 Kashian, S., Fathivand, A. A. (2015). Estimated daily intake of Fe, Cu, Ca and Zn through
732 common cereals in Tehran, Iran. *Food Chemistry*, 176, 193–196.
- 733 Kaur, B., Henry, J., (2014). Micronutrient status in type 2 diabetes: a review. *Advances in*
734 *Food and Nutrition Research*, 71, 55–100.
- 735 Kibar, B., Kibar, H. (2017). Determination of the nutritional and seed properties of some wild
736 edible plants consumed as vegetable in the Middle Black Sea Region of Turkey. *South*
737 *African Journal of Botany*, 108, 117–125.

- 738 Kinupp, V. F., Lorenzi, H. (2014). Plantas Alimentícias Não-Convencionais (PANC) no
739 Brasil: Guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. *Instituto*
740 *Platarum de Estudos da Flora*.
- 741 Ku, C. S., Mun, S. P. (2008). Optimization of the extraction of anthocyanin from
742 Bokbunja (*Rubus coreanus* Miq.) marc produced during traditional wine processing and
743 characterization of the extracts. *Bioresource Technology*, 99, 8325–8330.
- 744 Latta, M., Eskin, M. (1980). A simple and rapid colorimetric method for phytate
745 determination. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 28(6), 1313–1315.
- 746 Legeay, S., Rodier, M., Fillon, L., Faure, S., Clere, N. (2015). Epigallocatechin Gallate: A
747 Review of Its Beneficial Properties to Prevent Metabolic Syndrome. *Nutrients*, 7, 5443–
748 5468.
- 749 López-Vargas, J. H., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., Viuda-Martos, M. (2013).
750 Chemical, physico-chemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of
751 dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var.
752 *flavicarpa*) co-products. *Food Research International*, 51, 756–763.
- 753 Losada-Barreiro, S., Bravo-Díaz, C. (2017). Free radicals and polyphenols: The redox
754 chemistry of neurodegenerative diseases. *European Journal of Medicinal*
755 *Chemistry*, 133, 379–402.
- 756 Lucena, C. M., Lucena, R. F. P., Costa, G. M., Carvalho, T. K. N., Costa, G. G. S., Alves, R.
757 R. N., Pereira, D. D., Ribeiro, J. E. S., Alves, C. A. B., Quirino, Z. G. M., Nunes, E. N.
758 (2013). Use and knowledge of Cactaceae in Northeastern Brazil. *Journal of*
759 *Ethnobiology and Ethnomedicine*, 9, 1–11.
- 760 Lucena, C. M., Carvalho, T. K. N., Ribeiro, J. E. S., Quirino, Z. G. M., Casas, A., Lucena, R.
761 F. P. (2015). Conhecimento botânico tradicional sobre cactáceas no Semiárido do
762 Brasil. *Gaia Scientia*, 9(2), 77–90.

- 763 Maciel, J. K. S., Chaves, O. S., Brito Filho, S.G., Teles, Y. C. F., Fernandes, M. G., Assis, T.
 764 S., Fernandes, P. D., Andrade, A. P., Felix, L. P., Silva, T. M. S., Ramos, N. S. M.,
 765 Silva, G. R., Souza, M. F. V. (2016). New Alcamide ant Anti-oxidant Activity of
 766 *Pilosocereus gounellei* A. Weber ex K. Schum. Bly. Ex Rowl. (Cactaceas). *Molecules*,
 767 21(1).
- 768 Martínez, R., Torres, P., Meneses, M. A., Figueroa, J. G., Pérez-Álvarez, J. A., Viuda-Martos,
 769 M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties
 770 of cocoa (*Theobroma cacao* L.) co-products. *Food Research International*, 49, 39–45.
- 771 McConn, M. M., Nakata, P. A. (2004). Oxalate reduces calcium availability in the pads of the
 772 prickly pear cactus through formation of calcium oxalate crystals. *Journal Agricultural*
 773 *and Food Chemistry*, 52, 1371–1374.
- 774 Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., Katthain, R. (2000).
 775 Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food*
 776 *Hydrocolloids*, 14, 417–424.
- 777 Meiado, M. V., Albuquerque, L. S. C., Rocha, E. A., Rojas-Aréchiga, M.; Leal, I. R. (2010).
 778 Seed germination responses of *Cereus jamacaru* DC. ssp. *jamacaru* (Cactaceae) to
 779 environmental factors. *Plant Species Biology*, 25(2), 120–128.
- 780 Méndez, L. P., Flores, F. T., Martín, J. D., Rodríguez, E. M. R., Romero, C. D. (2015).
 781 Physicochemical characterization of cactus pads from *Opuntia dillenii* and *Opuntia*
 782 *ficus indica*. *Food Chemistry*, 188, 393–398.
- 783 Morales, P., Ramírez-Moreno, E., Sanchez-Mata, M. C., Carvalho, A. M., Ferreira, I. C. F. R.
 784 (2012). Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle
 785 cultivars (*Opuntia joconostle* F.A.C.Weber ex Diguet and *Opuntia matudae* Scheinvar)
 786 of high consumption in Mexico. *Food Research International*, 46, 279–285.

- Mrabet, A., Rodríguez-Gutiérrez, R., Rubio-Senent, F., Hamza, H., Rodríguez-Arcos, R., Guillén-Bejarano, R., Sindic, M., Jiménez-Araujo, A. (2017). Enzymatic conversion of date fruit fiber concentrates into a new product enriched in antioxidant soluble fiber. *LWT - Food Science and Technology*, 75, 727–734.
- Nascimento, V. T., Moura, N. P., Vasconcelos, M. A., Maiel, M. I. S., Albuquerque, U. O. (2011). Chemical characterization of native wild plants of dry seasonal forests of the semi-arid region of northeastern Brazil. *Food Research International*, 44, 2112–2119.
- Nascimento, V. T., Vasconcelos, M. A. S., Maciel, M. I. S., Albuquerque, U. P. (2010). Famine foods of Brazil's seasonal dry forests: Ethnobotanical and Nutritional Aspects. *Economic Botany*, 66(1), 22–34.
- Omena, C. M. B., Valentim, I. B., Guedes, G. S., Rabelo, L. A., Mano, C. M., Bechara, E. J. H., Sawaya, A. C. H. F., Trevisan, M. T. S., Costa, J. G., Ferreira, R. C. S., Sant'Ana, A. E. G., Goulart, M. O. F. (2012). Antioxidant, anti-acetylcholinesterase and cytotoxic activities of ethanol extracts of peel, pulp and seeds of exotic Brazilian fruits. Antioxidant, anti-acetylcholinesterase and cytotoxic activities in fruits. *Food Research International*, 49, 334–344.
- Osorio-Esquivel, O., Alicia-Ortiz-Moreno, A., Álvarez, V. B., Dorantes-Álvarez, L., Giusti, M. M. (2011). Phenolics, betacyanins and antioxidant activity in *Opuntia joconostle* fruits. *Food Research International*, 44, 2160–2168.
- Padilha, C. V. S., Miskinis, G. A., Souza, M. E. A. O., Pereira, G. E., Oliveira, D., Bordignon-Luiz, M. T., Lima, M. S. (2017). Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape. *Food Chemistry*, 228, 106–115.

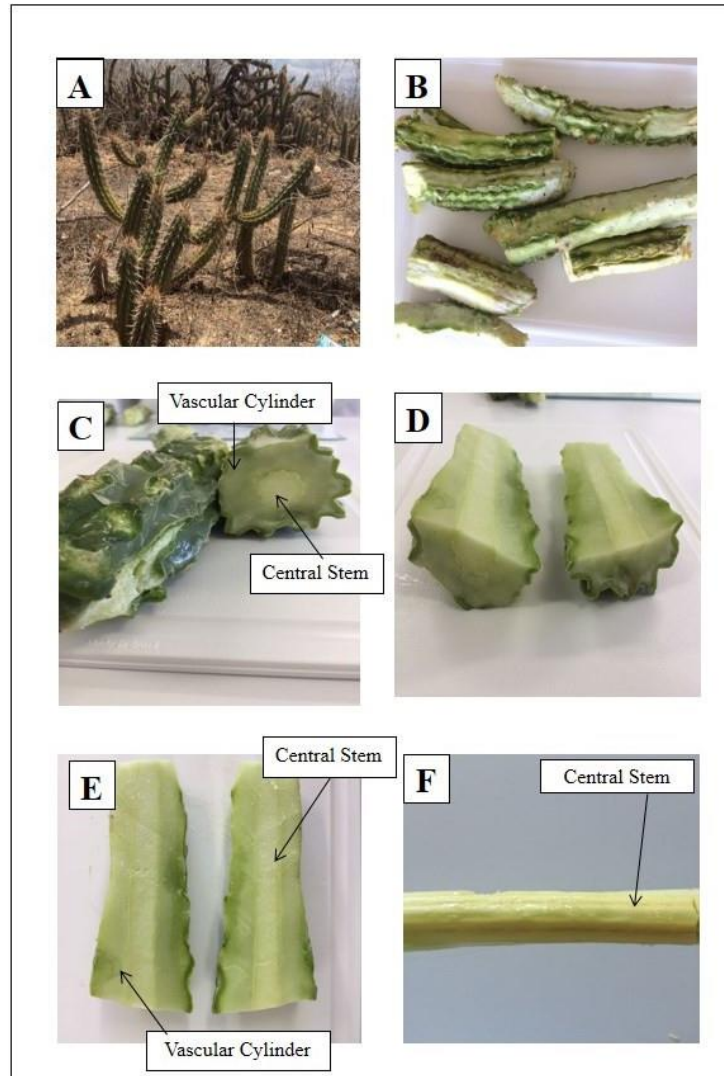
- 811 Padovani, R.M., Amaya-Farfán, J., Colugnati, F. A. B. (2006). Dietary reference intakes:
 812 Aplicabilidade das tabelas em estudos nutricionais. *Revista de Nutrição*, 19(6), 741–
 813 760.
- 814 Pereira, M. C., Steffens, R. S., Jablonski, A., Hertz, P. F., Rios, A. O., Vizzotto, M., Flôres, S.
 815 H. (2013). Characterization, bioactive compounds and antioxidant potential of three
 816 Brazilian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 29, 19–24.
- 817 Piga, A. (2004). Cactus Pear: A Fruit of Nutraceutical and Functional Importance. *Journal of*
 818 *the Professional Association for Cactus Development*, 6, 9–22.
- 819 Punithavathi, V. R., Prince, P. S. M., Kumar, R., Selvakumari, J. (2011). Antihyperglycaemic,
 820 antilipid peroxidative and antioxidant effects of gallic acid on streptozotocin induced
 821 diabetic Wistar rats. *European Journal of Pharmacology*, 650, 465–471.
- 822 Rackis, J. J., Mc Ghee, J. E., Kakade, M., Puski, G. (1974). Problems encountered in
 823 measured trypsin inhibitor activity of soy flour. Report of a collaborative
 824 analysis. *Cereal Science Today*, 19(11), 513–515.
- 825 Ramírez-Moreno., Díex Marquês, C., Sánchez-Mata, M. C., Goni, I. (2011). In vitro calcium
 826 bioaccessibility in raw and cooked cladodes of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*
 827 L. Miller). *Food Science and Technology*, 44(7), 1611–1615.
- 828 Rayman, M. P. (2012).Selenium and human health. *The Lancet*, 379, 1256–68.
- 829 Rassol, M. K., Sabina, E. P., Preety, R. P., Patel, S., Mandal, N., Mishra, P. P., Samuel, J.
 830 (2010). Hepatoprotective and antioxidant effects of gallic acid in paracetamol-induced
 831 liver damage in mice. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 62, 638–643.
- 832 Ribas-Agustí, A., Martín-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R., Elez-Martínez, P. (2017). Food
 833 processing strategies to enhance phenolic compounds bioaccessibility and
 834 bioavailability in plant-based foods, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*,
 835 doi. 10.1080/10408398.2017.1331200

- 836 Ribeiro, E. M. S., Meiado, M. V., Leal, I. R. (2015). The role of clonal and sexual spread in
837 cacti species dominance at the Brazilian Caatinga. *Gaia Scientia*, 9,(2), 27–33.
- 838 Rodríguez-García, M. E., de Lira, C., Hernández-Becerra, E., Cornejo-Villegas, M. A.,
839 Palacios-Fonseca, A. J., Rojas-Molina, I., Reynoso, R., Quintaero, L. C., Del-Real, A.,
840 Zepeda, A., Muñoz-Torres, C. (2007). Physicochemical characterization of nopal pads
841 (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powders as a function of the maturation.
842 *Plant Foods for Human Nutrition*, 62, 107–112.
- 843 Roque, A. A., Rocha, R. M., Loiola, M. I. B. (2010). Uso e diversidade de plantas medicinais
844 da Caatinga na comunidade rural de Laginhas, município de Caicó, Rio Grande do
845 Norte (nordeste do Brasil). *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 12, 31–42.
- 846 Rufino, M. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S., Moraes, S. M., Sampaio, C. G., Pérez-Jiménez,
847 J., Saura-Calixto, F. D. (2006). Comunicado técnico online. *Metodologia Científica:*
848 *Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pelo Método de Redução do*
849 *Ferro (FRAP)*. ISSN 1679–6535.
- 850 Santos, M., Silva Júnior, F. M. R., Muccillo-Baisch, A. L. (2017). Selenium content of
851 Brazilian foods: A review of the literature values. *Journal of Food Composition and*
852 *Analysis*, 58, 10–15.
- 853 Saura-Calixto, F., Serrano, J., Goñi, I. (2007). Intake and bioaccessibility of total polyphenols
854 in a whole diet. *Food Chemistry*, 101, 492–501.
- 855 Seená, S., Sridhar, K. R., Arun, A. B., Young, C-C. (2006). Effect of roasting and pressure-
856 cooking on nutritional and protein quality of seeds of mangrove legume *Canavalia*
857 *cathartica* from southwest coast of India. *Journal of Food Composition and Analysis*,
858 19(4), 284–293.

- 859 Shaman, A. M., Kowalski, S.R. (2015). Hyperphosphatemia management in patients with
860 chronic kidney disease. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 23(2), 1–12.
- 861 Singleton, V. L., Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-
862 phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–
863 158.
- 864 Silva, J. M. C., Leal, I. R., Taberelli, M. (2017). Caatinga the largest tropical dry forest region
865 in South America. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3>.
- 866 Silva, V. A. (2015). Diversidade de uso das cactáceas no Nordeste do Brasil: uma revisão.
867 *Gaia Scientia*, 9(2), 137–154.
- 868 Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., Crocker, D. (2008).
869 Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass. *Laboratory*
870 *analytical procedure*, 1617, 1-16.
- 871 Song, Q., Sergeev, I. N. (2012). Calcium and vitamin D in obesity. *Nutrition Reserach*
872 *Review*, 25, 130–41.
- 873 Spies, J. R. (1967). Determination of tryptophan in proteins. *Analytical Chemistry*, 39, 1412
874 – 1415.
- 875 Tagliazucchi, D., Verzelloni, E., Bertolini, D., Conte, A. (2010). In vitro bio-accessibility and
876 antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry*, 120, 599–606.
- 877 Taylor, N.; Santos, M. R.; Larocca, J.; Zappi, D. Cactaceae in Lista de Espécies da Flora do
878 Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Retrieved december 06, 2016 from:
879 floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB1562.
- 880 Tounsi-Saidani, M., Ouerghemmi, I., Ksouri, R., et al. (2011). HPLC-determination of
881 phenolic composition and antioxidant capacity of cactus prickly pears seeds. *Asian*
882 *Journal of Chemistry*, 23, 1006–1010.

- 883 US. Institute Of Medicine, (2000). Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E,
884 Selenium, and Carotenoids. Washington, D.C. National Academy Press.
- 885 US. Institute Of Medicine, (2001). Dietary Reference Intakes (DRIs): Vitamin A, Vitamin K,
886 Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel,
887 Silicon, Vanadium and Zinc. Washington, D.C. National Academy Press.
- 888 US. Institute Of Medicine, (2006). Dietary reference intakes: The essential guide to nutrient
889 requirements. Washington, D.C.: The National Academy Press.
- 890 US. Institute Of Medicine, (2010). Department of Health and Human Services. Dietary
891 guidelines for Americans. Washington, DC: US Department of Health and Human
892 Services.
- 893 White, J. A., Hart, R. J., Fry; J. C. (1986). An evaluation of the Waters Pico-Tag system for
894 the amino-acid analysis of food materials. *The Journal of Automatic Chemistry*, 8(4),
895 170–177.
- 896 WHO, FAO (2001). Human Vitamin and Mineral Requirements. Chapter 15, 235 –255.
- 897 Wu, G. (2013). Functional amino acids in nutrition and health. *Amino Acids*, 45(3), 407–411.
898

Figure 1 – Xique-xique and its structures



A: Xique-xique plant; **B:** Cladodes without thorns; **C:** Cross-section and exposure of the vascular cylinder and central stem; **D e E:** Longitudinal section and exposure of the vascular cylinder and central stem; **F:** Central stem without vascular cylinder (Personal archive).

Table 1 – Mean values of water activity, pH, acidity and total soluble solids (TSS) in xique-xique cladodes

Variables	Experimental groups		
	Vascular Cylinder	Central Stem	Vascular Cylinder + Central Stem
water activity	0.97 ±0.01 ^a	0.97 ±0.01 ^a	0.97 ±0.01 ^a
pH	4.77 ±0.21 ^a	4.87 ±0.21 ^a	4.69 ±0.21 ^a
acidity (%)	0.07 ±0.01 ^b	0.09 ±0.02 ^a	0.07 ±0.01 ^b
TSS (°Brix)	2.00 ±0.42 ^b	2.71 ±0.23 ^a	1.78 ±0.28 ^b

a, b, c – Averages followed by different letters on the same line differ statistically from each other. The Tukey test ($p < 0.05$) was applied between the groups.

Table 2 – Mean values of physico-chemical variables in xique-xique cladodes

Variables	Experimental groups		
	Vascular Cylinder	Central Stem	Vascular Cylinder + Central Stem
Proteins	8.39 ± 0.01^a	5.90 ± 0.04^c	7.49 ± 0.01^b
Lipids	4.79 ± 0.03^b	5.98 ± 0.04^a	5.31 ± 0.13^{ab}
Sugars			
Fructose	5.26 ± 0.25	ND	ND
Glucose	2.37 ± 0.25	ND	ND
Xylose	1.14 ± 0.10	ND	ND
Arabinose	0.89 ± 0.10	ND	ND
Galactose	0.25 ± 0.05	ND	ND
Sucrose	0.21 ± 0.04	ND	ND
Total Fiber	46.19 ± 0.17	50.81 ± 0.12	47.13 ± 0.21
Insoluble fiber	31.36 ± 0.00^c	40.18 ± 0.38^a	34.37 ± 0.10^b
Soluble fiber	14.83 ± 0.17^a	10.62 ± 0.25^b	12.76 ± 0.31^c
Ashes	34.07 ± 0.04^a	12.35 ± 0.01^c	24.33 ± 0.01^b

*ND – Not determined.

a, b, c – Averages followed by different letters on the same line differ statistically from each other. The Tukey test ($p < 0.05$) was applied between the groups.

Table 3 – Mineral profile in xique-xique cladodes

Mineral (mg/100 g)	Experimental groups			* Recommendation (mg)
	Vascular Cylinder	Central Stem	Vascular Cylinder + Central Stem	
Magnesium	3123.00 ±36.00 ^a	299.00 ±32.00 ^c	2373.00 ±33.00 ^b	420 ⁽²⁾
Calcium	2493.00 ±95.00 ^a	775.00 ±37.00 ^b	2592.00 ±90.00 ^a	1000 ⁽¹⁾
Sodium	412.00 ±7.00 ^c	950.00 ±6.00 ^a	652.00 ±8.00 ^b	1500 ⁽¹⁾
Manganese	131.90 ±0.60 ^a	35.00 ±3.00 ^c	111.00 ±2.00 ^b	2.3 ⁽¹⁾
Phosphor	50.40 ±0.20 ^c	52.40 ±0.20 ^b	59.50 ±0.40 ^a	700 ⁽²⁾
Zinc	7.78 ±0.11 ^a	1.71 ±0.07 ^c	3.12 ±0.06 ^b	11 ⁽²⁾
Iron	2.10 ±0.13 ^b	2.03 ±0.06 ^b	3.32 ±0.16 ^a	8 ⁽²⁾
Selenium	0.05 ±0.00 ^a	0.02 ±0.00 ^b	0.04 ±0.01 ^a	0.055 ⁽²⁾

Values expressed in mg/100 g dry weight.

a, b, c – Averages followed by different letters on the same line differ statistically from each other. The Tukey test ($p < 0.05$) was applied between the groups.

*Based on Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes, Washington D. C., National Academy Press; 2003 (1997-2005). Based on an adult man aged 31-50 years. (Padovani et al., 2006).

⁽¹⁾Adequate Intake

⁽²⁾Recommended Dietary Allowances

Table 4 – Amino acid content in xique-xique cladodes

Variables (mg/g)	Experimental groups		
	Vascular Cylinder	Central Stem	Vascular Cylinder + Central Stem
Aspartic acid	0.30 ±0.08	0.31±0.08	0.33±0.08
Glutamic acid	0.24 ±0.08	0.31±0.08	0.33±0.08
Serina	0.27 ±0.08	0.19±0.08	0.24±0.08
Glycine	0.27 ±0.08	0.18±0.08	0.23±0.08
Histidine	0.09 ±0.01	0.09±0.00	0.09±0.01
Arginine	0.54 ±0.08	0.58±0.08	0.53±0.08
Threonine	0.37 ±0.08	0.23±0.08	0.29±0.08
Alanine	0.25 ±0.08	0.19±0.08	0.23±0.08
Proline	0.28 ±0.08	0.20±0.08	0.23±0.08
Tyrosine	0.19 ±0.08	0.15±0.08	0.17±0.08
Valine	0.34 ±0.08	0.23±0.08	0.30±0.08
Methionine	0.05 ±0.02	0.03±0.00	0.03±0.00
Cystine	0.01 ±0.03	0.01±0.00	0.01±0.00
Isoleucine	0.23 ±0.08	0.16±0.08	0.20±0.08
Leucine	0.70 ±0.39	0.28±0.08	0.35±0.08
Phenylalanine	0.30 ±0.21	0.18±0.08	0.24±0.08
Lysine	0.23 ±0.23	0.19±0.08	0.21±0.08
Tryptophan	*ND	*ND	*ND

Values expressed in mg/100 g dry weight.

*ND - Not determined

There was no significant difference between groups (p >0,05)

Table 5 – Total phenolics and antioxidant activity in xique-xique vascular cylinder

Variables	Content
*Total Phenolics AG	258.21 ± 10.63
**DPPH' (µM de TEAC/100 g)	572.96 ± 14.89
**FRAP (µM de TEAC/100 g)	1912.95 ± 148.54

*Values expressed in mg EAG/100 g

**Values expressed in µM de TEAC/100 g

Table 6 – Profile of phenolic compounds in xique-xique vascular cylinder

Phenolic compounds	Xique-xique vascular cylinder			
	Profile	IN	OUT	Bioaccessibility %
Flavanols				
Catechin	77.13 ± 1,52	2.64 ± 0,05	17.19 ± 0,35	13.33
Epicatechin	1.89 ± 0,03	ND	0.03 ± 0,01	ND
Epigallocatechin gallate	328.23 ± 7,64	0.03 ± 0,01	1.15 ± 0,02	27.71
Proanthocyanidins				
Procyanidin B1	ND	0.04 ± 0,01	ND	100
Procyanidin B2	ND	0.04 ± 0,01	0.508 ± 0,01	7.87
Flavonols				
Quercetin 3-glucoside	14.97 ± 0,30	ND	0.11	ND
Rutin	4.80 ± 0,10	ND	0.03 ± 0,01	ND
Kaempferol glucoside	2.54 ± 0,05	ND	ND	ND
Phenolic acids				
Gallic	ND	0.35 ± 0,01	ND	100
Syringic	14.74 ± 0,29	ND	0.07 ± 0,01	ND

Values expressed in mg/100 g dry weight.

ND – Not detected.

IN: dialyzed fraction. OUT: non-dialyzed fraction.